CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Pesquisa e Aplicações

ORGANIZADORA

Rosana Rodrigues Teixeira Andrade

Editora Poisson

VOLUME 6

Rosana Rodrigues Teixeira Andrade
(Organizadora)

Ciência dos Alimentos
Pesquisa e Aplicações
Volume 6

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569

Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações - Volume 6/
Organização: Rosana Rodrigues Teixeira Andrade
Belo Horizonte - MG: Editora Poisson - 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-541-0
DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Tecnologia de Alimentos 2. Alimentos 3. Nutrição
I. ANDRADE, Rosana Rodrigues Teixeira. II. Título

CDD-664.005

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Alimentos funcionais na atualidade: aplicações científicas e benefícios à saúde 06

Elienae da Silva Gomes, Adriela Albino Rydlewski, Amabile Mariano Marques, Crislaine da Silva Oliveira, Gabrieli de França Tonhão, Larissa Lira Delariça Navarro, Luana Morais Antonini, Luis Miguel Trigos Sanchez, Lucas Soares da Silva, Samanta Shiraishi Kagueyama, Simone Maria Altoé Porto, Yesenia Milagros Turpo Mamani

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.01

Capítulo 2: Estudo químico das sépalas de *Passiflora riparia*: um subproduto alternativo com propriedade funcional 15

Zilanir Carvalho Pereira, Cláudia Almeida Alves Vermehren, Lesliê de Azevedo Gomes, Anderson da Silva Ferreira, Jaime Paiva Lopes Aguiar, Francisca das Chagas do Amaral Souza, Edinilze Souza Coelho Oliveira, Jaqueline de Araújo Bezerra

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.02

Capítulo 3: Composição nutricional de variedade de flores de bananeira 23

Cláudia Almeida Alves Vermehren, Josias Martins dos Anjos Cruz, Daniel de Queiroz Rocha, Débora Nogueira Cavalcante, Valdely Ferreira Kinupp, Jaqueline de Araújo Bezerra

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.03

Capítulo 4: Caracterização de leite cru de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para β-caseína – um estudo exploratório 32

Leila Silva e Castro, Lohanne Francino dos Santos, Lorayne da Silva Melo Moreira, Wesley William Gonçalves Nascimento, Manoela Meira Balzan, Roger Wagner, Andréa Alves Simiqueli, Milton de Jesus Filho

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.04

Capítulo 5: Caracterização química e físico-química do soro de queijo “tipo coalho” produzido no Cariri paraibano..... 47

Isanna Menezes Florêncio, Elainy Virgínia dos Santos Pereira, Flávia Carolina Alonso Buriti, Danielly Barbosa dos Santos, Sonally de Oliveira Lima, Eliane Rolim Florentino, Flávio Luiz Honorato da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.05

SUMÁRIO

Capítulo 6: Fundamentos da cor em carnes: pigmento mioglobina & análise instrumental da cor 53

Lethícia Olimpio Bueno, Eduardo Mendes Ramos

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.06

Capítulo 7: Maturação d*ry-aged* e w*et-aged* e método PEF para processamento e conservação de carnes: uma breve revisão 73

Cláudio Wellinton Rosendo Viana, Jailson Ribeiro Alves, Hênio Vítor Sobral Melo, Danielly Barbosa dos Santos, Pablicia Oliveira Galdino, Sonally de Oliveira Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.07

Capítulo 8: Estudo de viabilidade do uso de mucilagem de quiabo na elaboração de maionese 80

Jussara Navarini, Paola dos Santos Fortes, Juliana de Mello Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.08

Capítulo 9: Avaliação do potencial do fubá de milho como aditivo energético em processos de compostagem: uma revisão sistemática da literatura 89

Roberta Brena Lourenço Lima, Isanna Menezes Florêncio, Elainy Virgínia dos Santos Pereira, Flávia Carolina Alonso Buriti, Vanderlania do Nascimento Santos, Danielly Barbosa dos Santos, Pablícia Oliveira Galdino, Hélvia Waleska Casullo de Araújo, Sonally de Oliveira Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.09

Capítulo 10: Secagem em camada de espuma da polpa integral de umbú-cajá: caracterização química e fisíco-química 104

Mylena Maria Dias de Oliveira Silva, Fabrícia Santos Andrade, Sonally de Oliveira Lima, Pablícia Oliveira Galdino

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.10

Capítulo 11: Secagem de frutas em leito de espuma: uma revisão 114

Ana Carolina de Melo Alencar, Joseilton Franco França, Vanessa Maria da Rocha Sousa, Pablícia Oliveira Galdino, Sonally de Oliveira Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.11

Autores 122

Capítulo 1

Alimentos funcionais na atualidade: aplicações científicas e benefícios à saúde

Elienae da Silva Gomes
Adriela Albino Rydlewski
Amabile Mariano Marques
Crislaine da Silva Oliveira
Gabrieli de França Tonhão
Larissa Lira Delariça Navarro
Luana Morais Antonini
Luis Miguel Trigos Sanchez
Lucas Soares da Silva
Samanta Shiraishi Kagueyama
Simone Maria Altoé Porto
Yesenia Milagros Turpo Mamani

Resumo: Os alimentos funcionais têm se destacado como uma estratégia dietética eficaz para a promoção da saúde e prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Compostos bioativos como flavonoides, carotenoides, ácidos graxos poli-insaturados, fibras e probióticos conferem propriedades fisiológicas que vão além da nutrição básica. Esses compostos, quando incorporados em uma dieta equilibrada, exercem efeitos fisiológicos como ação antioxidante, anti-inflamatória, hipocolesterolêmica e imunomoduladora. Este capítulo apresenta um panorama atualizado sobre os principais compostos bioativos presentes em alimentos funcionais, suas fontes alimentares, mecanismos de ação no organismo humano e os efeitos benéficos comprovados por evidências científicas. Além disso, aborda as inovações tecnológicas utilizadas na formulação e preservação desses compostos, como microencapsulação, fermentação e nanotecnologia, que ampliam sua estabilidade e biodisponibilidade. Também são discutidos os desafios e limitações relacionados à regulamentação, validação científica e perspectivas futuras.

Palavras-chave: alimentos funcionais, compostos bioativos, prevenção de doenças, inovação tecnológica, ciência de alimentos.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de alimento funcional emergiu na década de 1980, no Japão, como parte de uma estratégia de saúde pública voltada à promoção do envelhecimento saudável e à prevenção de doenças crônicas. Atualmente, esses alimentos ocupam papel central na interface entre alimentação, saúde e bem-estar. Consideram-se funcionais os alimentos ou ingredientes que, além das suas funções nutricionais básicas, exercem efeitos benéficos sobre uma ou mais funções fisiológicas do organismo, contribuindo para a melhora da saúde e/ou redução do risco de doenças. (Grunert, 2020).

Estudos clínicos e epidemiológicos têm demonstrado que dietas ricas em compostos bioativos presentes em frutas, vegetais, cereais integrais, leguminosas, peixes e alimentos fermentados estão associadas à menor incidência de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes tipo 2, obesidade e doenças neurodegenerativas. Além disso, consumidores estão cada vez mais interessados em alimentos que promovam bem-estar, desempenho imunológico e longevidade, impulsionando o mercado global de funcionais. (Faria *et al.*, 2021).

A crescente prevalência de doenças crônicas não transmissíveis e a busca por práticas alimentares mais saudáveis têm contribuído para o avanço de pesquisas e o desenvolvimento de alimentos com alegações funcionais. A indústria alimentícia, alinhada com as tendências de saúde e bem-estar, tem investido na reformulação de produtos tradicionais e na criação de novos alimentos enriquecidos com compostos bioativos. Estes compostos têm demonstrado capacidade de atuar em múltiplas vias metabólicas, com potenciais efeitos benéficos à saúde humana, o que reforça a importância de compreender sua ação, biodisponibilidade e segurança. (Oliveira *et al*., 2022).

Além disso, a integração desses compostos em matrizes alimentares exige a utilização de tecnologias que preservem sua estabilidade durante o processamento, armazenamento e digestão, como a microencapsulação e a fermentação controlada. A adoção dessas estratégias tecnológicas tem permitido o desenvolvimento de produtos inovadores com propriedades funcionais mais eficazes e maior aceitação sensorial. (Silva; Ferreira, 2021).

Esse movimento de inovação também é impulsionado por consumidores mais informados e exigentes, que valorizam produtos naturais, com benefícios comprovados e respaldados por evidências científicas. Nesse cenário, a pesquisa multidisciplinar envolvendo ciência de alimentos, nutrição e biotecnologia torna-se essencial para garantir a eficácia funcional e a segurança de novo (Costa et al., 2023).

Essa demanda crescente por alimentos que promovam a saúde tem estimulado a indústria a investir em tecnologias avançadas para o desenvolvimento e aprimoramento de produtos, desde a identificação de novos compostos bioativos até a otimização de processos de produção que preservem suas propriedades funcionais (Rodrigues & Silva, 2020).s produtos lançados no mercado. (Costa *et al*., 2023).

Dessa maneira apresentar os principais avanços científicos envolvendo alimentos funcionais, com ênfase nos compostos bioativos, seus mecanismos de ação, inovações tecnológicas aplicadas à sua produção e desafios regulatórios enfrentados atualmente no Brasil e no mundo. (Melo *et al*., 2023).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1. COMPOSTOS BIOATIVOS: FONTES E MECANISMOS DE AÇÃO

Os compostos bioativos presentes nos alimentos funcionais são substâncias naturalmente encontradas em frutas, vegetais, grãos, sementes, legumes, oleaginosas, produtos fermentados e alimentos de origem animal, e que exercem efeitos benéficos à saúde quando consumidos regularmente. Dentre os principais grupos de compostos destacam-se os polifenóis, flavonoides, carotenoides, fitoesteróis, ácidos graxos ômega-3, fibras solúveis, prebióticos e probióticos, cada um atuando de forma específica no organismo. (Silva *et al*., 2021).

Os polifenóis e flavonoides, por exemplo, têm ação antioxidante e anti-inflamatória, neutralizando radicais livres e modulando vias de sinalização celular envolvidas em processos inflamatórios crônicos. Já os carotenoides, como o betacaroteno, a luteína e o licopeno, têm demonstrado propriedades na proteção contra danos oxidativos celulares e na prevenção de doenças oculares e cardiovasculares. (Costa; Lopes; Mattos, 2020).

Fibras solúveis, como a beta-glucana e os arabinoxilanos, contribuem para a modulação da microbiota intestinal, auxiliam na redução do colesterol e na regulação glicêmica. Prebióticos, como a inulina e os frutooligossacarídeos (FOS), estimulam o crescimento seletivo de microrganismos benéficos no intestino, enquanto probióticos, como cepas de Lactobacillus e Bifidobacterium, atuam diretamente no equilíbrio da microbiota, fortalecimento da barreira intestinal e resposta imunológica. (Moreira *et al.*, 2022).

Peptídeos bioativos, liberados durante processos de digestão ou fermentação de proteínas alimentares, também têm sido associados à redução da pressão arterial, atividade antioxidante e melhoria da sensibilidade à insulina. Esses efeitos são geralmente mediados por mecanismos como inibição da enzima conversora de angiotensina (ECA), modulação de receptores hormonais e sinalização intracelular. (Rodrigues; Ferreira, 2021)

A compreensão dos mecanismos de ação desses compostos tem sido fundamental para validar suas propriedades funcionais, justificar alegações de saúde e orientar o desenvolvimento de novos alimentos e suplementos. Estudos in vitro, in vivo e ensaios clínicos têm evidenciado que tais compostos atuam sinergicamente, sendo a matriz alimentar e a biodisponibilidade fatores cruciais para a eficácia dos efeitos observados. (Almeida *et al*., 2023).

Na tabela 1 são apresentados os principais compostos bioativos .

Tabela 1 – Principais Compostos Bioativos, Fontes e Efeitos na Saúde

Composto Bioativo	Fonte Alimentar Principal	Efeitos Fisiológicos Associados
Flavonoides	Frutas vermelhas, uvas, chás, cacau	Ação antioxidante e anti-inflamatória; proteção cardiovascular
Carotenoides	Cenoura, abóbora, tomate, manga, espinafre	Prevenção de doenças oculares e cardiovasculares; neutralização de radicais livres
Fibras solúveis	Aveia, cevada, frutas cítricas, leguminosas	Redução do colesterol; controle glicêmico; regulação da microbiota intestinal
Ácidos graxos ômega-3	Peixes de água fria (salmão, sardinha), linhaça, chia	Ação anti-inflamatória; melhora da função cerebral e saúde cardiovascular
Prebióticos	Alho, cebola, banana verde, alcachofra, aspargo	Estímulo ao crescimento de bifidobactérias e lactobacilos
Probióticos	Iogurte, kefir, kombucha, chucrute	Equilíbrio da microbiota intestinal; fortalecimento imunológico
Peptídeos bioativos	Produtos lácteos fermentados, soja, ovos, carnes	Efeitos antihipertensivos, antioxidantes e hipocolesterolêmicos

Fonte: Almeida, J. C. de; SousA, M. T.; Lima, A. R

2.2. ALIMENTOS FUNCIONAIS E EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS NA SAÚDE

Estudos científicos vêm demonstrando que o consumo regular de alimentos funcionais pode promover a saúde e reduzir o risco de desenvolvimento de diversas doenças crônicas não transmissíveis. A ação dos compostos bioativos presentes nesses alimentos tem sido amplamente documentada em ensaios clínicos e estudos populacionais, evidenciando seus efeitos fisiológicos benéficos. (Barbosa *et al*., 2020).

Um dos exemplos mais consistentes refere-se à capacidade de compostos fenólicos e flavonoides em reduzir o estresse oxidativo e a inflamação sistêmica, fatores intimamente ligados à gênese de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas. Além disso, probióticos demonstram papel fundamental na regulação da microbiota intestinal, influenciando diretamente o sistema imunológico e o metabolismo energético. (Fernandes *et al*., 2021).

Estudos clínicos randomizados demonstraram que o consumo de alimentos ricos em beta-glucanas e fibras solúveis, como aveia e cevada, está associado à redução de colesterol LDL e melhora do perfil lipídico em indivíduos com dislipidemias. Esses efeitos contribuem diretamente para a prevenção da aterosclerose e das doenças cardiovasculares. (Lima *et al*., 2019).

No contexto do diabetes tipo 2, a ingestão de alimentos funcionais ricos em compostos com ação hipoglicemiante tem sido associada à melhora na sensibilidade à insulina e ao controle glicêmico. Ácidos fenólicos, antocianinas e compostos sulfurados atuam na modulação de enzimas digestivas e na redução da absorção de glicose no intestino delgado. (Nascimento *et al*., 2022).

Ainda, há evidências do papel de peptídeos bioativos na regulação da pressão arterial e da função endotelial, contribuindo para o controle da hipertensão. Esses peptídeos atuam na inibição da enzima conversora da angiotensina (ECA), favorecendo o relaxamento vascular e o equilíbrio do sistema renina-angiotensina. (Moraes; Oliveira, 2020).

Portanto, a literatura científica atual confirma que os alimentos funcionais são aliados na promoção da saúde pública, sendo instrumentos relevantes em estratégias de prevenção de doenças e melhoria da qualidade de vida da população. (Silveira *et al*., 2023).

2.3. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS FUNCIONAIS

A inovação tecnológica tem sido um dos principais motores para o avanço e a consolidação dos alimentos funcionais no mercado global. A aplicação de tecnologias emergentes permite a incorporação de compostos bioativos em matrizes alimentares de forma mais eficiente, protegendo suas propriedades funcionais e garantindo maior estabilidade e biodisponibilidade. Técnicas como microencapsulação, nanotecnologia, secagem por atomização (spray drying), extrusão e fermentação controlada são amplamente utilizadas na indústria de alimentos funcionais. (Almeida *et al*., 2021).

A microencapsulação, por exemplo, é uma tecnologia amplamente aplicada para proteger compostos sensíveis, como probióticos, vitaminas e ácidos graxos ômega-3, contra as condições adversas de processamento, armazenamento e digestão. Isso assegura maior viabilidade das cepas probióticas e liberação controlada dos ativos no trato gastrointestinal. (Costa; Teixeira; Oliveira, 2020).

Outra inovação relevante é a utilização da fermentação controlada, que permite o enriquecimento de alimentos com peptídeos bioativos e metabolitos benéficos. A fermentação com microrganismos selecionados melhora o perfil sensorial, aumenta o valor nutricional e potencializa a funcionalidade do alimento. Além disso, essa técnica pode ser aplicada ao aproveitamento de subprodutos agroindustriais, promovendo sustentabilidade. (Martins *et al*., 2022).

A nanotecnologia tem se destacado como uma ferramenta promissora para a entrega direcionada de compostos bioativos. A criação de nanoemulsões e nanopartículas permite uma melhor absorção e penetração dos ativos no organismo, otimizando os efeitos funcionais mesmo em doses reduzidas. Contudo, essa abordagem ainda demanda avaliação rigorosa quanto à segurança alimentar e regulação. (Santos; Ferreira, 2023).

Por fim, destaca-se o uso de ingredientes naturais provenientes de resíduos agroindustriais como fontes sustentáveis de compostos bioativos. Cascas de frutas, sementes e bagaços têm sido utilizados na formulação de produtos funcionais, agregando valor a resíduos antes descartados e contribuindo para a economia circular. (Freitas; Nascimento, 2021).

2. 4. DESAFIOS E LIMITAÇÕES CIENTÍFICAS E REGULATÓRIAS

Apesar dos avanços significativos no desenvolvimento de alimentos funcionais, o setor ainda enfrenta desafios relevantes em termos científicos, tecnológicos e regulatórios. Um dos principais entraves é a necessidade de comprovação científica robusta dos efeitos funcionais dos compostos bioativos, especialmente por meio de ensaios clínicos randomizados e controlados com amostras representativas. (Fernandes *et al*., 2020).

Muitos estudos são conduzidos in vitro ou em modelos animais, o que limita a extrapolação dos dados para seres humanos. Além disso, aspectos como biodisponibilidade, metabolismo e interação com a matriz alimentar podem interferir significativamente nos efeitos fisiológicos observados. (Silva; Gonçalves, 2021).

Outro desafio é a ausência de uma regulamentação uniforme entre os países para a rotulagem e alegações funcionais. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece critérios rigorosos para que produtos sejam comercializados como funcionais, exigindo comprovação científica de segurança e eficácia. Essa exigência, embora necessária, pode dificultar a inovação e o acesso de pequenas empresas ao mercado. (ANVISA, 2021).

Nos Estados Unidos, o Food and Drug Administration (FDA) permite alegações de estrutura e função desde que não sejam enganosas, enquanto na União Europeia, a European Food Safety Authority (EFSA) é bastante criteriosa na autorização de alegações de saúde. Essa diversidade regulatória gera insegurança jurídica para exportadores e fabricantes. (Oliveira; Nascimento, 2022).

Além disso, existe uma lacuna no conhecimento do consumidor sobre o real significado de "alimento funcional", o que pode gerar falsas expectativas ou uso indevido desses produtos. Portanto, é necessário investir em educação nutricional, rotulagem clara e comunicação transparente sobre os efeitos esperados e limitações desses alimentos. (Moura *et al*., 2020).

2. 5. PERSPECTIVAS FUTURAS E TENDÊNCIAS DE MERCADO

O mercado de alimentos funcionais está em plena expansão, impulsionado pela crescente demanda dos consumidores por produtos que promovam saúde e bem-estar. As tendências indicam um avanço contínuo na personalização dos alimentos funcionais, com o uso de tecnologias ômicas e dados nutrigenômicos para desenvolver produtos adaptados ao perfil genético e metabólico de cada indivíduo. (Silva *et al*., 2023).

A sustentabilidade também desponta como um dos principais vetores para a inovação. Há um esforço crescente em utilizar ingredientes de origem vegetal, subprodutos agroindustriais e sistemas de produção com menor impacto ambiental. Produtos veganos, fermentados, com baixo teor de açúcar e enriquecidos com compostos bioativos naturais ganham espaço nos mercados internacionais. (Carvalho; Menezes; Pereira, 2021).

Além disso, observa-se uma convergência entre alimentos funcionais e tecnologias digitais, como aplicativos de monitoramento de saúde, rastreamento de ingestão alimentar e inteligência artificial para recomendações nutricionais. Essa integração favorece o consumo consciente, com base em evidências científicas e dados personalizados. (Freitas; Santana, 2022).

No Brasil, o setor ainda enfrenta desafios relacionados ao alto custo de produção, à escassez de pesquisas clínicas e à regulamentação rigorosa. No entanto, iniciativas de incentivo à inovação e à parceria entre universidades e indústrias têm ampliado as oportunidades de desenvolvimento de novos produtos com alegações funcionais respaldadas pela ciência. (Melo *et al*., 2020).

3. CONCLUSÃO

A crescente valorização dos alimentos funcionais reflete uma mudança de paradigma no modo como a sociedade compreende a alimentação: não apenas como fonte de energia e nutrientes, mas como uma ferramenta ativa de promoção da saúde e prevenção de doenças. Os estudos científicos recentes confirmam os efeitos benéficos de compostos

bioativos sobre a saúde cardiovascular, metabólica, imunológica e neuroprotetora, consolidando a base científica para o desenvolvimento e consumo desses alimentos.

A indústria de alimentos tem respondido com inovações tecnológicas voltadas à incorporação e preservação desses compostos, ao mesmo tempo em que enfrenta desafios regulatórios, metodológicos e de aceitação pelo consumidor. Iniciativas interdisciplinares, envolvendo ciência de alimentos, biotecnologia, medicina e políticas públicas, são essenciais para garantir a segurança, eficácia e acessibilidade dos alimentos funcionais.

Nesse contexto, o avanço na personalização alimentar, o uso sustentável de matérias-primas e a integração com tecnologias digitais indicam caminhos promissores para o futuro do setor. Os alimentos funcionais deixam, portanto, de ser uma tendência de mercado para se consolidarem como uma estratégia fundamentada em evidências, capaz de impactar positivamente a saúde pública.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, D. S. et al. Aplicações tecnológicas na produção de alimentos funcionais: avanços e desafios**. Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 41, n. 1, p. 56–64, 2021.

[2] ALMEIDA, J. C. de; SOUSA, M. T.; LIMA, A. R. de. Mecanismos de ação de compostos bioativos na promoção da saúde: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, v. 27, n. 3, p. 45–55, 2023.

[3] ALMEIDA, J. C. de; SOUSA, M. T.; LIMA, A. R. de. Mecanismos de ação de compostos bioativos na promoção da saúde: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde,** v. 27, n. 3, p. 45–55, 2023.

[4] ALMEIDA, J. C. de; SOUSA, M. T.; LIMA, A. R. de. Mecanismos de ação de compostos bioativos na promoção da saúde: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde,** v. 27, n. 3, p. 45–55, 2023.

[5] ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa. Acesso em: 17 de junho 2025.

[6] BARBOSA, R. D. et al. Alimentos funcionais e a prevenção de doenças crônicas: uma revisão integrativa. **Revista Saúde em Foco**, v. 12, n. 1, p. 88–96, 2020.

[7] CARVALHO, J. S.; MENEZES, L. A.; PEREIRA, T. L. Alimentos funcionais e sustentabilidade: convergências e tendências. **Revista Brasileira de Tecnologia e Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 45–53, 2021.

[8] COSTA, M. A.; LOPES, F. S.; MATTOS, J. T. Propriedades antioxidantes dos flavonoides e carotenoides em alimentos funcionais. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 15, n. 2, p. 127–136, 2020.

[9] COSTA, M. A.; LOPES, F. S.; MATTOS, J. T. Propriedades antioxidantes dos flavonoides e carotenoides em alimentos funcionais. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 15, n. 2, p. 127–136, 2020.

[10] COSTA, M. F. et al**.** Inovação em alimentos funcionais: tendências e desafios. **Revista Brasileira de Alimentos Funcionais**, v. 8, n. 1, p. 45-58, 2023.

[11] COSTA, R. M.; TEIXEIRA, F. N.; OLIVEIRA, A. S. Microencapsulação de compostos bioativos: aplicações e benefícios em alimentos funcionais. **Revista Brasileira de Nutrição Funcional**, v. 15, n. 2, p. 102–110, 2020.

[12] FARIA, A. P. F.; NASCIMENTO, A. S.; GONÇALVES, M. P. Alimentos funcionais e sua influência na saúde: uma abordagem atualizada. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, v. 19, n. 2, p. 75–83, 2021.

[13] FERNANDES, M. A. et al. Ensaios clínicos e alimentos funcionais: limites metodológicos e implicações para a saúde pública. **Revista de Nutrição Clínica e Experimenta**l, v. 29, n. 2, p. 145–153, 2020.

[14] FERNANDES, P. C. S. et al. Probióticos e saúde intestinal: implicações imunológicas e metabólicas. **Revista Brasileira de Nutrição Funcional**, v. 17, n. 4, p. 224–232, 2021.

[15] FREITAS, A. R.; SANTANA, V. C. Tecnologias digitais e alimentos funcionais: perspectivas para o futuro da alimentação saudável. **Revista Inovação e Saúde**, v. 5, n. 1, p. 33–41, 2022.

[16] FREITAS, L. F.; NASCIMENTO, M. A. Valorização de resíduos agroindustriais na produção de alimentos funcionais: uma abordagem sustentável. **Revista Sustentabilidade em Debate**, v. 12, n. 3, p. 213–221, 2021.

[17] GRUNERT, K. G. Consumer behavior with regard to food innovations: quality perception, context and consumer segments. **British Food Journal**, v. 122, n. 6, p. 1672–1684, 2020.

[18] LIMA, R. F. de et al. Beta-glucanas e controle lipídico: revisão sistemática de ensaios clínicos. **Jornal Brasileiro de Nutrição Clínica**, v. 33, n. 1, p. 12–20, 2019.

[19] MARTINS, A. V.; SOARES, C. R.; PINTO, L. A. Fermentação controlada como estratégia de produção de alimentos funcionais. **Revista Brasileira de Alimentos e Nutrição**, v. 33, n. 4, p. 354–362, 2022.

[20] MELO, T. F. et al. Inovação em alimentos funcionais no Brasil: avanços e gargalos. **Revista de Nutrição Aplicada**, v. 26, n. 3, p. 177–184, 2020.

[21] MELO, T. R.; RODRIGUES, F. V.; ALMEIDA, M. B. Inovação em alimentos funcionais: avanços e perspectivas. **Revista de Alimentos e Nutrição**, v. 34, n. 1, p. 22–30, 2023.

[22] MORAES, L. F.; OLIVEIRA, D. L. Peptídeos bioativos e o controle da pressão arterial: uma abordagem funcional. **Revista Funcional & Alimentos**, v. 11, n. 2, p. 94–101, 2020.

[23] MOREIRA, R. G.; OLIVEIRA, M. C.; CAMPOS, A. V. Fibras e prebióticos: impacto na microbiota intestinal e no metabolismo. **Revista de Nutrição e Alimentos Funcionais,** v. 10, n. 3, p. 78–86, 2022.

[24] MOREIRA, R. G.; OLIVEIRA, M. C.; CAMPOS, A. V. Fibras e prebióticos: impacto na microbiota intestinal e no metabolismo. **Revista de Nutrição e Alimentos Funcionais**, v. 10, n. 3, p. 78–86, 2022.

[25] MOURA, K. C. L. et al. Percepção do consumidor sobre alimentos funcionais e implicações para o consumo consciente. **Revista Brasileira de Consumo e Alimentação**, v. 12, n. 4, p. 203–211, 2020.

[26] NASCIMENTO, D. A. S. et al. Compostos bioativos na prevenção do diabetes mellitus tipo 2: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 16, n. 92, p. 632–640, 2022.

[27] OLIVEIRA, L. M.; SANTOS, F. C.; TEIXEIRA, D. F. A indústria de alimentos e a demanda por saudabilidade: estratégias e desafios. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 40, n. e2020287, p. 1–10, 2022.

[28] OLIVEIRA, S. T.; NASCIMENTO, V. R. Desafios regulatórios para alimentos funcionais no contexto internacional. **Revista Brasileira de Direito e Saúde**, v. 8, n. 3, p. 121–130, 2022.

[29] RODRIGUES, T. F.; FERREIRA, P. R. Peptídeos bioativos: papel funcional e aplicações na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 8, n. 1, p. 77–85, 2021.

[30] RODRIGUES, A. C.; SILVA, B. R**.** O papel da tecnologia no desenvolvimento de alimentos funcionais. **Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 112-120, 2020.

[31] RODRIGUES, T. F.; FERREIRA, P. R. Peptídeos bioativos: papel funcional e aplicações na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos,** v. 8, n. 1, p. 77–85, 2021.

[32] SANTOS, A. R.; FERREIRA, J. L. Nanotecnologia em alimentos funcionais: aplicações, desafios e segurança. **Revista Brasileira de Inovação em Alimentos**, v. 7, n. 1, p. 88–97, 2023.

[33] SANTOS, V. C.; OLIVEIRA, M. P.; SOUSA, A. C. Alimentos funcionais: definições, benefícios e legislação. **Revista Nutrição Atual**, v. 36, n. 1, p. 14–22, 2022.

[34] SILVA, D. M. et al. Alimentos personalizados e o papel da nutrigenômica na saúde preventiva. **Revista Brasileira de Alimentos Funcionais**, v. 20, n. 1, p. 11–19, 2023.

[35] SILVA, E. D. et al. Compostos bioativos em alimentos funcionais: fontes e mecanismos de ação.

Revista de Alimentos e Saúde, v. 17, n. 1, p. 58–65, 2021.

[36] SILVA, E. D. et al. Compostos bioativos em alimentos funcionais: fontes e mecanismos de ação. **Revista de Alimentos e Saúde**, v. 17, n. 1, p. 58–65, 2021.

[37] SILVA, R. F.; GONÇALVES, M. R. Biodisponibilidade e efeitos fisiológicos de compostos bioativos: desafios para aplicação funcional. **Revista Brasileira de Alimentos Funcionais**, v. 19, n. 1, p. 55–63, 2021.

[38] SILVEIRA, C. A. F. et al. Alimentos funcionais e promoção da saúde: revisão sistemática da literatura científica recente. **Revista de Saúde Pública e Nutrição**, v. 8, n. 2, p. 33–40, 2023.

Capítulo 2

Estudo químico das sépalas de Passiflora riparia: um subproduto alternativo com propriedade funcional

Zilanir Carvalho Pereira
Cláudia Almeida Alves Vermehren
Lesliê de Azevedo Gomes
Anderson da Silva Ferreira
Jaime Paiva Lopes Aguiar
Francisca das Chagas do Amaral Souza
Edinilze Souza Coelho Oliveira
Jaqueline de Araújo Bezerra

Resumo: Este estudo avaliou a composição centesimal e mineral das sépalas liofilizadas de *Passiflora riparia*, espécie pouco explorada do gênero *Passiflora*. As análises revelaram baixo teor de umidade (8,7g/100g) e lipídios (1,3 g/100g), com predominância de carboidratos (60,2 g/100g) e proteínas (15,8 g/100g). O elevado teor de cinzas (14,0 g/100g) indicou uma presença mineral significativa com destaque para magnésio (299,7 mg/kg), cálcio (238,3 mg/kg), potássio (150,0 mg/kg), zinco (3,8 mg/kg), com baixo teor de sódio (2,2 mg/kg). A análise por RMN 1D e 2D confirmou a presença de compostos bioativos como ácidos fenólicos (ácidos gálico, siríngico e protocatecuico), além dos flavonoides miricetina e vitexina. Os resultados apontam potencial para o aproveitamento das sépalas como subproduto com apelo funcional, com potencial aplicação sustentável nas indústrias alimentícia e cosmética.

Palavras-chave: *Passiflora riparia,* ácidos fenólicos, flavonoides, minerais.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Passiflora*, da família Passifloraceae, possui ampla distribuição global, com maior ocorrência nas Américas, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (Pereira et al., 2023). Destaca-se comercialmente pela elevada demanda de suas frutas frescas e sucos processados (Asande et al., 2020) sendo o Brasil um dos principais produtores globais, destacando-se especialmente pela expressiva produção de suco obtido a partir de sua polpa (Almeida et al., 2022).

O aproveitamento integral do maracujá, incluindo seus resíduos, é fundamental para a redução do desperdício e a mitigação dos impactos ambientais. Essa abordagem permite a utilização de todos os seus componentes em diferentes setores industriais, como o alimentício, farmacêutico e de biocombustíveis (Teles et al., 2023). Pesquisas indicam que os resíduos de espécies do gênero *Passiflora*, como cascas e sementes, representam fontes relevantes de compostos como minerais, fibras e pectinas com potencial benefício à saúde humana (Romaní et al., 2021).

Figura 1. Sépalas e frutos de *Passiflora riparia*: (A) sépalas com fruto (B) sépalas seca

Embora o gênero *Passiflora* inclua diversas espécies amplamente estudadas, muitas delas, como a *Passiflora riparia*, ainda não foram suficientemente exploradas em investigações científicas, especialmente no que diz respeito às propriedades de suas sépalas e seus possíveis benefícios, considerando que essa parte da planta é abundante nos frutos, o presente estudo tem como objetivo analisar a composição química, centesimal e mineral das sépalas de *Passiflora riparia*, visando identificar suas propriedades e potenciais aplicações como resíduo vegetal de valor, contribuindo para o aproveitamento integral da planta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS

A amostra foi coletada no bairro Colônia Santo Antônio, no município de Manaus (AM), sendo posteriormente sanitizada e encaminhada para as análises de composição centesimal e de minerais. As análises centesimais e minerais foram realizadas em parceria com o Laboratório de Físico-química de Alimentos do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA).

2.2. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição centesimal foi determinada de acordo com os testes de umidade por secagem em estufa (105 °C); cinzas por incineração (550 °C); lipídios por extração com hexano por 8 h em aparelho Soxhlet; proteínas pelo método clássico de Kjeldahl (Instituto Adolfo Lutz, 2008) e carboidratos (Ogunlaja et al., 2020). O valor energético total foi determinado pela seguinte equação: Energia (kcal) = 4 × (g $_{\text{proteínas}}$ + g $_{\text{carboidratos}}$) + 9 × (g $_{\text{lipídeos}}$) (Palmeira et al., 2019).

2.3. DETERMINAÇÕES DE MINERAIS

Os minerais foram determinados utilizando técnicas de Espectrometria de Absorção Atômica. Foram avaliados os minerais Fe, Cu, Ca, Mg, Zn, Na e K. As amostras foram digeridas em ácido nítrico concentrado com auxílio de micro-ondas no digestor MARS – XPRESS CEM Corporation, MD – 2591, em seguida, as amostras digeridas foram resfriadas e diluídas em água deionizada. O teor dos minerais analisados foi obtido por meio de leitura direta em espectrofotômetro de absorção atômica SPECTRA AA, Modelo 220 FS, Varian, 2000. Para controle das análises foram utilizados os materiais de referência certificados Peach Leaves (NIST – SEM 1547).

2.4. PREPARO DOS EXTRATOS HIDROETANÓLICOS

O extrato foi obtido de acordo com o método descrito por (Arruda et al., 2018) com modificações: 2 g de amostra liofilizada foi submetido à extração exaustiva: 3 x 15 mL de metanol e água (8:2, v/v) usando um banho ultrassônico (Mylabor, modelo SSBuc-6L, 110V, 1000W, Brasil) , 3 x 30 min, em temperatura ambiente.

2.5. PROCEDIMENTO DE EXTRAÇÃO EM FASE SÓLIDA (SPE)

Foi utilizado um cartucho de SPE STRATA-X (Phenomenex®), seletivo para compostos fenólicos. Amostras de 200 mg foram solubilizadas em 5 mL de água UP com 5% de ácido fórmico, agitadas por 2 minutos em vórtex e filtradas em membranas de 0,22 µm. A extração foi realizada em sistema a vácuo (-5 inHg). O cartucho foi condicionado com 3 mL de MeOH e equilibrado com 3 mL de água UP (fluxo ~2 gotas/s). Em seguida, os 5 mL da amostra foram aplicados (1 gota/s), retendo os fenólicos na coluna. A coluna foi lavada com 3 mL de H_2O:MeOH (95:5) e os compostos retidos eluídos com 2 mL de MeOH (1 gota/s). As frações fenólicas foram coletadas, secas em capela, pesadas e preparadas para análise por RMN.

2.6. PERFIL QUÍMICO

A amostra foi submetida à análise de RMN de ^{1}H e 13C (HSQC e HMBC). O extrato (10 mg) após o processo de concentração em SPE foi solubilizado em 540 µL de D_2O. A aquisição dos espectros foi realizada em um espectrômetro de RMN (Avance IIIHD, da Bruker), operando na frequência de 500 MHz do NMRLab da Central Analítica da UFAM. Os deslocamentos químicos (δ) foram obtidos em partes por milhão, referidos ao tetrametilsilano (TMS). Os espectros foram posteriormente analisados usando o Software TopSpin™ 3.7.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. COMPOSIÇÕES CENTESIMAL E MINERAL DAS SÉPALAS DE P. RIPARIA

O resultado obtido para as propriedades físico-químicas das sépalas de *P. riparia* são mostrados na **Tabela 1.** O teor de umidade é relativamente baixo (8,7 g/100 g) o que é desejável para produtos desidratados ou em pó, pois reduz a atividade de água, dificultando o crescimento microbiano e aumentando a estabilidade e vida útil do produto resultado similar ao encontrado por (Romaní et al., 2021) para semente de *P. tripartita* (9,1 g/100 g).

Tabela 1. Análise centesimal (g/100 g) e energética (kcal/100 g) da sépala de *Passiflora riparia* (SPR)

Amostra	Umidade	Cinza	Lipídios	Proteínas	Carboidratos	Energia
SPR	8,7 ± 0,0	14,0 ± 0,1	1,3 ± 0,1	15,8 ± 0,0	60,2 ± 0,0	315,7 ± 0,7

O teor de cinzas (14 g/100 g) é relativamente alto, indicando uma concentração significativa de minerais. Isso pode sugerir que a amostra é uma boa fonte de micronutrientes essenciais. Valores superiores ao encontrado para a polpa com semente analisado por Pereira et al. (2024) em *P. nitida*.

A concentração de lipídios é baixa (1,3 g/100 g), o que é típico para partes vegetais como as sépalas, enquanto a quantidade de proteínas é relativamente alta (15,8 g/100 g), sugerindo um potencial valor nutricional (Layse et al., 2020).

O carboidrato é o componente mais abundante na amostra (60,2 g/100 g). Um alto teor de carboidratos implica em importante fonte de energia rápida, tornando o produto útil para dietas energéticas. Dependendo do tipo de carboidrato (simples ou complexo), isso pode ter implicações diferentes na resposta glicêmica e na saciedade (Layse et al., 2020).

Esse valor calórico (315,7 kcal/100 g) é moderadamente elevado, o que é compatível com o alto teor de carboidratos e proteínas. Para fins alimentares, isso indica que a amostra pode ser uma boa fonte de energia. Para produtos funcionais ou suplementos, isso é desejável; porém, em alimentos para dietas hipocalóricas, o valor pode precisar de ajuste (Romanini et al., 2006).

A amostra de sépala de *P. riparia* pode ser descrita como um produto de baixa umidade, rico em carboidratos e proteínas, com baixo teor de lipídios e alto teor de minerais. Essas características podem ser vantajosas em diferentes contextos: Alimentação funcional e esportivo; produtos com maior estabilidade de prateleira e possível aproveitamento tecnológico (Dalla Dea et al., 2017).

Tabela 2. Análise de minerais das sépalas de *Passiflora riparia* (SPR) em mg/kg

Amostra	Mg	Ca	k	Na	Cu	Zn	Mn	Fe
SPR	299,7 ± 1,1	238,3 ± 0,5	150,0 ± 1,4	2,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	3,8 ± 0,2	0,1 ± 0,0	3,2 ± 0,2

A análise mineral revela concentração significativa de magnésio (299,7 mg/kg), valor superior ao encontrado para casca de *P. edulis* (Bezerra et al., 2021). O magnésio é essencial para a função muscular e nervosa (Macedo et al., 2023), cálcio (238,3 mg/kg) que é um mineral para saúde óssea, coagulação e contração muscular (Fonseca et al., 2022).

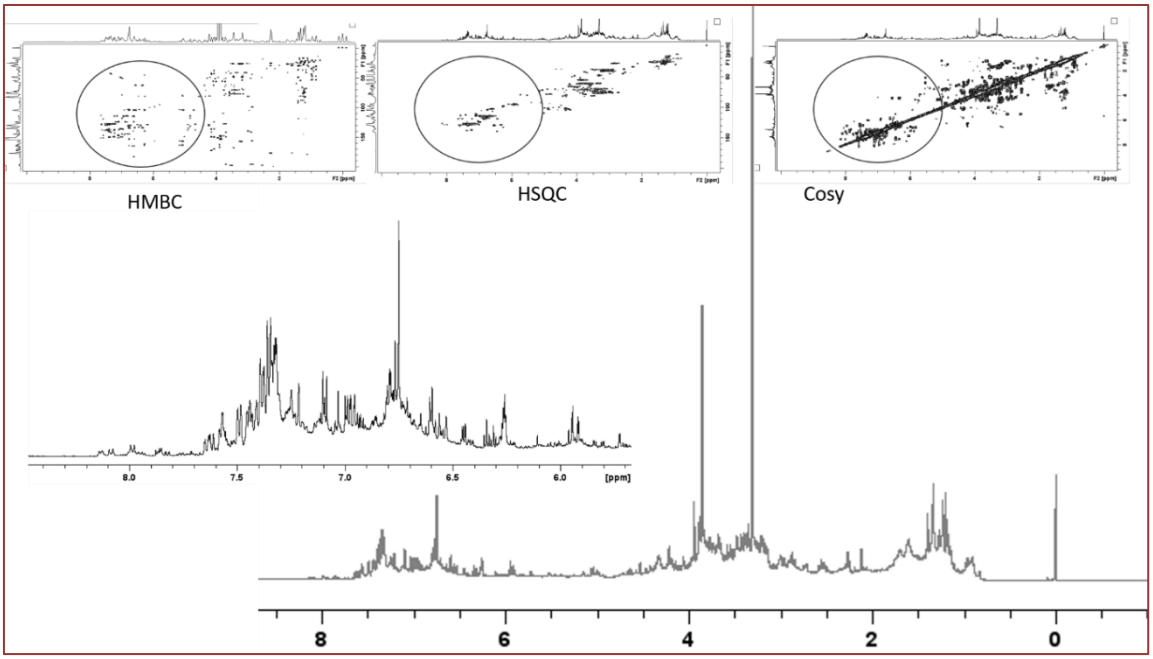
O potássio (150,0 mg/kg) está presente em concentração expressiva, sendo um mineral essencial para a manutenção da estrutura celular e o funcionamento adequado dos processos metabólicos vegetais. O teor de sódio é reduzido (2,2 mg/kg), característica comum entre espécies vegetais, o que contribui positivamente para o perfil nutricional. Os micronutrientes cobres (0,1 mg/kg), zinco (3,8 mg/kg), manganês (0,1 mg/kg) e ferro (3,2 mg/kg) encontram-se em concentrações moderadas, desempenhando papéis fundamentais em funções biológicas como a fotossíntese, a defesa antioxidante e a ativação de enzimas (Pereira et al., 2024).

Em relação aos minerais, a amostra possui um perfil mineral interessante, com destaque para magnésio, cálcio, zinco e ferro. O baixo teor de sódio e a alta relação potássio e sódio reforçam seu potencial para uso em alimentos funcionais e saudáveis, inclusive para públicos com restrição de sal ou necessidade de minerais essenciais (Macedo et al., 2023). Isso fortalece ainda mais sua viabilidade como ingrediente sustentável e nutritivo, com possibilidade de aplicação em suplementos, farinhas funcionais ou como obtenção de um chá.

3.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE P. RIPARIA

A análise do extrato etanólico das sépalas de *P. riparia* **Figura 2**, mostra espectros de RMN 2D (HMBC, HSQC e COSY) e 1D de ^{1}H, obtidos das frações fenólicas isoladas. As regiões destacadas nos espectros 2D indicam forte presença de compostos aromáticos substituídos.

Figura 2. Espectros de RMN 1D e 2D do extrato hidroetanólico das sépalas de *P. riparia,* com destaques para regiões com sinais de hidrogênios aromáticos



No HMBC, observam-se correlações de longo alcance entre hidrogênios e carbonos na região aromática, sugerindo estruturas fenólicas conjugadas. O HSQC confirma essas correlações com sinais entre hidrogênios e carbonos sp^2, típicos de anéis aromáticos. No COSY, as correlações entre hidrogênios vizinhos reforçam a presença de sistemas conjugados densamente acoplados (Kaiser, 2000).

A análise do perfil químico no espectro de ^1H da amostra revela semelhanças entre si. Apresentando sinais de hidrogênios para a região dos aminoácidos alifáticos (δH 0,50 a 3,00 ppm), açúcares (δH 3,00 a 5,50 ppm) e ácidos fenólicos e polifenóis (δH 5,50 a 10,00 ppm) conforme a **Figura 2** (Pereira et al., 2023).

Ampliando o espectro de ^1H (**Figura 2**) exibe sinais intensos entre 6,0 e 8,0 ppm, característicos de hidrogênios aromáticos. Esses dados, em conjunto, apontam para a presença de compostos fenólicos complexos, como flavonoides ou derivados de ácidos cinâmicos, com alta diversidade estrutural.

Foram identificados sinais típicos de α-glicose, com um dupleto em δ 5,10 ppm e constante de acoplamento J = 3,8 Hz, e de β-glicose, com um dupleto em δ 4,53 ppm e *J* = 7,9 Hz, além da presença de sacarose, indicada por um dupleto em δ 5,31 ppm (*J* = 3,8 Hz). Podendo ser observado esses sinais também em frutos de *P. nitida* (Pereira et al., 2024).

Na faixa correspondente aos hidrogênios olefínicos e aromáticos, foi identificado o ácido gálico por meio de um singleto em δ 6,75 ppm, com correlação no HSQC com carbono em δ 117 ppm; o ácido siríngico, por um singleto em δ 7,10 ppm, correlacionado com carbono em δ 128,0 ppm; e um singleto adicional em δ 3,85 ppm, atribuído a um grupo metila ligado a oxigênio, com correlações no HSQC (δ 55,0 ppm) e no HMBC (δ 148,1 e 152,4 ppm). Sendo identificado em mesocarpo de *P. edulis* (Siniawska & Wojdyło, 2023).

O ácido protocatecuico apresentou sinais dos hidrogênios aromáticos em δ 7,09 ppm (dupleto, *J* = 8,50 Hz) e δ 7,64 ppm (dupleto duplo, *J* = 8,50 e 2,0 Hz), com respectivos carbonos correlacionados no HSQC em δ 114,0 e 119,0 ppm. A miricetina foi identificada por um singleto em δ 6,80 ppm e dois dupletos em δ 6,45 e 6,44 ppm (*J* = 2,2 Hz), indicativos de um sistema aromático trissubstituído, com correlações no HSQC (δ 139,8 ppm) e no HMBC (δ 104,0; 130,0; 134,0; 144,0 e 152,0 ppm). A vitexina apresentou sinais em δ 7,98 ppm (dupleto, *J* = 8,9 Hz) e δ 7,10 ppm (dupleto, *J* = 8,7 Hz), correspondentes aos hidrogênios do anel B, com correlação no HSQC com carbono em δ 128,2 ppm (Pereira et al., 2024). Esses dados, em conjunto, confirmam a presença de flavonoides e ácidos fenólicos já identificados em outras partes de espécies de *Passiflora*.

4. CONCLUSÃO

A composição química das sépalas sugere que ela pode ser um recurso valioso, contribuindo para a sustentabilidade e aproveitamento de resíduos vegetais. A partir desta investigação, pretende-se abrir novas possibilidades para o aproveitamento integral da planta, especialmente no que diz respeito à valorização de resíduos, promovendo a sustentabilidade e inovação na indústria alimentícia e cosmética. Os dados de RMN 1D e 2D do extrato etanólico das sépalas de *P. riparia* confirmam a presença de compostos fenólicos, como ácidos gálico, siríngico e protocatecuico, além de flavonoides como miricetina e vitexina. Esses resultados reforçam o potencial fitoquímico da espécie e sua similaridade com outras partes de espécies do gênero *Passiflora*.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM; à CAPES, pelo suporte contínuo ao desenvolvimento da pesquisa e pela concessão da bolsa de pós-graduação; ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas (PPGQ/UFAM), pelo apoio institucional; à Central Analítica do IFAM-CMC; Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e NMRLab da Central Analítica da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pelas análises realizadas.

REFERÊNCIAS

[1] Almeida, S. L. de, Pereira, L. F. S., Silva, F. M. da, Nogueira, A. F. A., Santos, J. C. de P. dos, Silva, C. M. L., M`batna, A. J., Fernandes, M. R. do N., Celestino, J. J. de H., & Amaral, J. F. do. (2022). APROVEITAMENTO, CARACTERÍSTICAS FITOQUÍMICAS E ATIVIDADES BIOLÓGICAS DA CASCA DO MARACUJÁ AMARELO (PASSIFLORA EDULIS F. FLAVICARPA DEGENER): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. In *Abordagens Interdisciplinares sobre Plantas Medicinais e Fitoterapia: Saúde, Sustentabilidade e Biodiversidade* (pp. 118–128). Editora Científica Digital. https://doi.org/10.37885/220308127

[2] Arruda, H. S., Pereira, G. A., de Morais, D. R., Eberlin, M. N., & Pastore, G. M. (2018). Determination of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolics composition in the edible part of araticum fruit (Annona crassiflora Mart.) and its by-products by HPLC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, *245*(August 2017), 738–749. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.120

[3] Asande, L. K., Omwoyo, R. O., Oduor, R. O., & Nyaboga, E. N. (2020). A simple and fast*Agrobacterium*-mediated transformation system for passion fruit KPF4 (*Passiflora edulis*f.*edulis* x *Passiflora edulis*f.*flavicarpa*). *Plant Methods*, *16*(1). https://doi.org/10.1186/s13007-020-00684-4

[4] Bezerra, M. A. F., Cavalcante, L. F., Bezerra, F. T. C., Pereira, W. E., de Oliveira, F. F., & Silva, A. R. (2021). Calcium in the mineral nutrition of yellow passion fruit cultivated in lined pits and with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, *25*(4), 256–263.

https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n4p256-263

[5] Dalla Dea, R. C. ;, Leão, K. V. ;, Mapeli, A. M. ;, Veloso, I. S. ;, Braga, V. S. ;, & Machado, L. L. (2017). *Análise nutricional das farinhas de duas diferentes espécies de Passiflora provenientes do Oeste da Bahia*. https://doi.org/ISBN 978-85-85905-21-7

[6] Fonseca, A. M. A., Geraldi, M. V., Junior, M. R. M., Silvestre, A. J. D., & Rocha, S. M. (2022). Purple passion fruit (Passiflora edulis f. edulis): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. *Food Research International*, *160*, 111665. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111665

[7] Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos físicos-quimicos para análise de Alimentos* (4th ed.). Instituto Adolfo Lutz.

[8] Kaiser, C. R. (2000). RMN 2D: Detecção inversa e gradiente de campo na determinação estrutural de compostos orgânicos. *Química Nova*, *23*(2), 231–236. https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000200014

[9] Macedo, M. C. C., Correia, V. T. da V., Silva, V. D. M., Pereira, D. T. V., Augusti, R., Melo, J. O. F., Pires, C. V., de Paula, A. C. C. F. F., & Fante, C. A. (2023). Development and Characterization of Yellow Passion Fruit Peel Flour (Passiflora edulis f. flavicarpa). *Metabolites*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/metabo13060684

[10] Machado Jinkings Layse, Santos Goncalves Ivanna, & Santos da Silva Anne do Socorro. (2020). *Elaboración de harina de Passiflora edulis Sims (maracuyá amarelo) a partir de exocarpo y e estudio de la composición centesimal*. *3*, 52–58.

[11] Ogunlaja, O. O., Moodley, R., Baijnath, H., & Jonnalagadda, S. B. (2020). Elemental Distribution and Health Risk Assessment of the Edible Fruits of Two Ficus Species, Ficus sycomorus L. and Ficus burtt-davyi Hutch. *Biological Trace Element Research*, *198*(1), 303–314. https://doi.org/10.1007/s12011-020-02048-4

[12] Palmeira, L., Pereira, C., Dias, M. I., Abreu, R. M. V., Corrêa, R. C. G., Pires, T. C. S. P., Alves, M. J., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Nutritional, chemical and bioactive profiles of different parts of a Portuguese common fig (Ficus carica L.) variety. *Food Research International*, *126*(June), 108572. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108572

[13] Pereira, Z. C., CRUZ, J. M. dos A., CASTRO, D. R. G., RAMOS, A. S., ROCHA, D. de Q., ARRUDA, H. S., BORSOI, F. T., NERI-NUMA, I. A., PASTORE, G. M., SANCHES, E. A., CAMPELO, P. H., FARIA, J. A. Q. A., OLIVEIRA, L. M., & BEZERRA, J. de A. (2024). Passiflora nitida Kunth fruit: Chemical analysis, antioxidant capacity, and cytotoxicity. *Food Science and Technology*, *44*. https://doi.org/10.5327/fst.00258

[14] Pereira, Z. C., Cruz, J. M. dos A., Corrêa, R. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Bezerra, J. de A. (2023). Passion fruit (Passiflora spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. *Food Research International*, *166*(January). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626

[15] Pereira, Z. C., Cruz, J. M. dos A., Sanches, E. A., Campelo, P. H., Oliveira, L. M., & Bezerra, J. de A. (2023). Perfil Químico e Capacidade Antioxidante do Extrato Hidrometanólico da Polpa de Maracujá-Do-Mato. In Christiano Henrique Rezende (Ed.), *Ciência, tecnologia e inovação: tendências e desafios para o desenvolvimento científico e tecnológico* (AMPLLA, pp. 238–248). Amplla Editora. https://doi.org/10.51859/AMPLLA.CTI3437-18

[16] Romaní, D. R., Calixto-Cotos, M. R., & Apaza, F. S. (2021). Utilization of Passiflora tripartita fruit residues. *Scientia Agropecuaria*, *12*(3), 445–453. https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.049

[17] Siniawska, M., & Wojdyło, A. (2023). Polyphenol Profiling by LC QTOF/ESI-MS and Biological Activity of Purple Passion Fruit Epicarp Extract. *Molecules*, *28*(18), 6711. https://doi.org/10.3390/molecules28186711

[18] Teles, G. H., dos Santos, E. C., da Silva, G. B., Gabriel Lopes Da Silva, M., Maria da Silva, J., de Moraes Rocha, G. J., de Barros Pita, W., & Ribeiro, E. (2023). Full utilization of the yellow passion fruit peel: Chemical characterization and valorization to reduce biomass waste. *Industrial Crops and Products*, *206*, 117593. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117593

[19] Valério Romanini, C., Wesz Machado, M., Weber Biavatti, M., & De Oliveira, R. M. W. (2006). Avaliação da atividade ansiolítica e antidepressiva do extrato fluido e fração aquosa de folhas de Passiflora alata Cuitis em camundongos. *Acta Scientiarum - Health Sciences*, *28*(2), 159–164.

Capítulo 3

Composição nutricional de variedade de flores de bananeira

Cláudia Almeida Alves Vermehren
Josias Martins dos Anjos Cruz
Daniel de Queiroz Rocha
Débora Nogueira Cavalcante
Valdely Ferreira Kinupp
Jaqueline de Araújo Bezerra

Resumo: As flores de bananeira (*Musa* spp.) são tradicionalmente subutilizadas como resíduos agrícolas, apesar de seu elevado potencial nutricional. Este estudo teve como objetivo avaliar a composição centesimal e mineral de seis variedades de flores de bananeira coletadas em Manaus, Amazonas, Brasil. Foram analisados os teores de umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos e valor energético, além da quantificação de macro (Ca, K, P, Mg, Na) e microminerais (Fe, Mn, Zn, B, Cu, Cr). Os resultados indicaram altos teores de umidade (cerca de 88–90%) e quantidades significativas de nutrientes essenciais, como cálcio, potássio, ferro e magnésio, variando conforme cada variedade de bananeira. As flores também apresentaram potencial energético relevante, sugerindo sua aplicabilidade como ingrediente funcional em formulações alimentícias. Considerando sua composição química, propõe-se o aproveitamento dessas flores na forma de farinha, como estratégia para prolongar a vida útil dos produtos e agregar valor a um subproduto agroindustrial. Os achados reforçam a importância de novos estudos focados em segurança alimentar, propriedades funcionais e aplicação em saúde humana.

Palavras-chave: *Musa* spp. Resíduos, Composição Centesimal, Minerais.

1. INTRODUÇÃO

A banana é uma fruta amplamente integrada à cultura alimentar mundial. Nos últimos anos, seu comércio internacional tem se expandido significativamente, com o volume de exportação estimado em 21 milhões de toneladas em 2019 (FAO, 2022). Botanicamente, a banana pertence à família Musaceae, que compreende cerca de 70 espécies, em sua maioria comestíveis, pertencentes ao gênero *Musa*, com predominância de cultivo em regiões tropicais e subtropicais (Kraithong; Issara, 2021a).

As espécies de Musa spp. figuram entre as principais plantas frutíferas de interesse econômico e nutricional. O consumo de seus frutos fornece energia e constitui uma fonte natural relevante de compostos fenólicos, carotenoides e aminas, os quais conferem propriedades farmacológicas à fruta (Lau *et al*., 2020; Pereira; Maraschin, 2015). Os principais produtores de banana estão localizados na Ásia, América Latina e África. Em algumas localidades, o cultivo dessa fruta é responsável por até 75% da renda mensal de pequenos agricultores (FAO, 2022).

As flores da bananeira, também conhecidas como bloom ou blossom, constituem estruturas reprodutivas da planta e formam o chamado "coração da bananeira", um subproduto agrícola gerado durante a colheita dos frutos. Esses resíduos são, em geral, descartados ou utilizados como matéria orgânica para biofertilização. No entanto, apresentam elevado valor nutricional e potencial para o desenvolvimento de novos produtos, devido à presença de fibras alimentares, proteínas, peptídeos, enzimas e diversos compostos bioativos e funcionais. Tal composição justifica seu aproveitamento na formulação de alimentos (FAO, 2022; Kraithong; Issara, 2021b, 2021a; Lau *et al*., 2020; Panyayong; Srikaeo, 2022; Sitthiya *et al*., 2018). Além disso, o uso desses subprodutos como alimento pode contribuir socioeconomicamente para comunidades rurais produtoras de banana (Kraithong; Issara, 2021a; Panyayong; Srikaeo, 2022).

A inflorescência da bananeira apresenta uma ampla gama de compostos bioativos, como polifenóis, e ácidos fenólicos, entre os quais se destacam o ácido gálico, protocatecuico, vanílico, siríngico, ferúlico, cafeico, p-cumárico, p-hidroxibenzóico, clorogênico, sinápico, entre outros. Esses compostos conferem às flores potencial aplicação como ingredientes em alimentos funcionais, produtos nutracêuticos e medicamentos fitoterápicos (Lau *et al*., 2020).

Embora ainda haja um número limitado de estudos sobre o tema, a inflorescência da bananeira é tradicionalmente utilizada como alimento e, em algumas regiões, na medicina popular (LAU *et al*., 2020). Evidências experimentais vêm corroborando essas aplicações. Em modelos animais, extratos alcoólicos das flores de *Musa paradisiaca* demonstraram intensa atividade anti-hiperglicêmica e moderada atividade antimicrobiana (Jawla; Kumar; Khan, 2012), além de promoverem redução nos níveis de glicose sérica, insulina plasmática e nas atividades de enzimas relacionadas ao metabolismo de carboidratos (Shanmuga; Subramanian, 2012). Da mesma forma, extratos aquosos das flores e brácteas apresentaram efeito antidiabético in vivo (Vilhena *et al*., 2020).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição centesimal e mineral de variedades de flores de *Musa* spp., com vistas ao seu potencial nutricional e à sua aplicação em produtos alimentícios, contribuindo assim para a valorização de resíduos vegetais e a promoção de alternativas sustentáveis na cadeia produtiva da banana.

2.MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Os corações de seis variedades de *Musa* spp. foram coletados em dezembro de 2021, no Sítio PANC, localizado no ramal do Brasileirinho, e em um quintal na zona urbana de Manaus, Amazonas, Brasil. A identificação botânica das variedades foi realizada pelo professor Dr. Valdely Ferreira Kinupp. As flores (Figura 1) foram separadas dos brácteos, higienizadas e, posteriormente, cortadas em pequenos pedaços. Uma parte do material foi liofilizado por 72 horas a -700 mmHg e -40 °C, enquanto a outra parte foi armazenada sob refrigeração, a aproximadamente -8 °C, até a realização das análises físico-químicas.

Figura 1. Flores de bananas pão, anã, ouro, prata, d'água e jardim

2.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição nutricional das amostras foi avaliada por meio da determinação dos teores de umidade, cinzas, proteínas e lipídios conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), além do cálculo de carboidratos e do valor energético total. Resumidamente, o teor de umidade foi determinado por secagem em estufa a 105 °C durante 6 horas. O teor de cinzas foi obtido por incineração em mufla a 550 °C por 5 horas. O conteúdo de proteínas foi quantificado pelo método de Kjeldahl clássico. O teor de lipídios foi determinado por extração contínua com hexano, utilizando o aparelho de Soxhlet por 8 horas.

O teor de carboidratos foi estimado por diferença (Ogunlaja *et al.*, 2020), utilizando a seguinte equação: Carboidratos (%) = 100 – (% umidade + % cinzas + % proteínas + % lipídios). O valor energético total foi calculado de acordo com a equação: Energia (kcal/100 g) = 4 × (g de proteínas + g de carboidratos) + 9 × (g de lipídios) (Palmeira *et al.*, 2019).

2.3. COMPOSIÇÃO MINERAL

Cerca de 0,5 g de flores de bananeira liofilizadas e pulverizadas foram adicionadas em 10 mL HNO_3 e digeridas por 20 min em um forno de micro-ondas, MultiWave 5000 (Anton Paar, Áustria). A determinação dos macrominerais (K, Ca, P, Mg e Na) e microminerais (Fe, Mn, Zn, B, Cu e Cr) foi realizada em um espectrômetro de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) com configuração axial e radial (modelo série 5800, Agilent, EUA). Argônio foi utilizado como gás principal e auxiliar com vazão de 1,0 L/min. As curvas analíticas consideraram concentrações de 0,10 a 10.000 µg/L dos metais avaliados, aplicando materiais de referência certificados (Inorganic, EUA) para as soluções padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A **Tabela 1** apresenta os resultados da análise da composição centesimal das flores de *Musa spp.*. Para todas as variedades de bananeira avaliadas, foram observados elevados teores de umidade (entre 88% e 90%) e teores de cinzas variando entre 1,0% e 1,5%. O maior valor de umidade foi identificado na flor da banana-prata (89,23 ± 0,12%), enquanto o menor foi observado na flor da banana-jardim (88,02 ± 1,29%), resultados que se assemelham aos encontrados por Shubham *et al*. (2019), que reportaram cerca de 90% de umidade. Com relação ao teor de cinzas, a variedade com maior valor foi a banana-d'água (1,52 ± 0,03%), e a com menor valor foi a banana-anã (1,12 ± 0,02%).

Os lipídios, ou óleos, são a principal forma de armazenamento de energia no organismo humano, representando até 34% da energia total ingerida na dieta. São macronutrientes fundamentais, atuando como cofatores enzimáticos, agentes emulsificantes no trato digestório, transportadores de elétrons, precursores de hormônios e mensageiros intracelulares, além de integrarem a estrutura das membranas celulares. As flores comestíveis têm se destacado como possíveis fontes saudáveis de lipídios (Fernandes *et al*., 2018). No presente estudo, a maior concentração de lipídios foi observada na flor da banana-pão (2,89 ± 0,07%), enquanto o menor valor foi registrado na flor da banana-d'água (0,77 ± 0,02%).

Tabela 1: Composição centesimal (g/100g) e energia (kcal/100 g) das flores de *Musa* spp

Amostra	Umidade	Cinzas	Lipídeos	Proteínas	Carboidratos	Energia
B. pão	88.81 ± 0.76^{a}	1.29 ± 0.01^{b}	2.89 ± 0.07^{a}	1.75 ± 0.04^{a}	5.72 ± 0.37^{c}	55.44 ± 1.49^{a}
B. anã	88.76 ± 0.90^{a}	1.12 ± 0.02^{c}	2.32 ± 0.13^{b}	0.44 ± 0.01^{c}	7.94 ± 0.07^{b}	53.77 ± 1.19^{a}
B. ouro	88.35 ± 0.61^{a}	1.50 ± 0.05^{a}	1.20 ± 0.07^{c}	0.44 ± 0.01^{c}	8.10 ± 0.04^{b}	45.00 ± 0.49^{bc}
B. prata	89.23 ± 0.12^{a}	1.18 ± 0.00^{c}	0.77 ± 0.03^{d}	0.87 ± 0.02^{b}	7.94 ±0.11^{b}	42.13 ± 0.53^{c}
B. d'água	88.48 ± 0.32^{a}	1.52 ± 0.03^{a}	0.77 ± 0.02^{d}	0.44 ± 0.01^{c}	8.61 ± 0.07^{b}	42.99 ± 0.27^{c}
B. jardim	88.02 ± 1.29^{a}	1.46 ± 0.01^{a}	1.23 ± 0.04^{c}	0.44 ± 0.02^{c}	9.62 ± 0.78^{a}	50.13 ± 4.39^{ab}

Médias da mesma coluna que compartilham letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05).

As proteínas, também classificadas como macronutrientes essenciais, desempenham múltiplas funções biológicas, como a síntese proteica, crescimento, desenvolvimento, reparação e manutenção dos tecidos (Cozzolino, 2020). Houve variação significativa entre as amostras analisadas. A flor da banana-pão apresentou o maior teor de proteínas (1,75%), seguida pela banana prata (0,87%), enquanto as flores das variedades de banana-ouro, banana-anã, banana-d'água e banana-jardim apresentaram os menores valores (0,44%).

Os carboidratos constituem a principal fonte de energia em uma dieta equilibrada, sendo essenciais para o fornecimento de glicose ao sistema nervoso central, entre outras funções metabólicas (Cozzolino, 2020). A maior concentração de carboidratos foi observada na flor da banana-jardim (9,62 ± 0,78%), e a menor na banana-pão (5,72 ± 0,37%).

Quanto ao valor energético total (VET), a flor da banana-pão apresentou o maior valor calórico, com 55,44 kcal/100 g. Esse resultado é semelhante ao observado por Shubham (*et al*., 2019), que reportaram 51 kcal/100 g na flor de *Musa paradisiaca*, e ao estudo de Basumatary e Nath (2018), que identificaram aproximadamente 53 kcal/100 g.

Segundo as Dietary Reference Intakes (DRIs), ou Ingestão Diária Recomendada, esses valores representam uma estimativa adequada da ingestão de nutrientes necessária para suprir as necessidades fisiológicas de aproximadamente 97 a 98% dos indivíduos saudáveis. No entanto, a quantidade ideal de cada nutriente pode variar de acordo com fatores como idade, sexo e estado de saúde (Cozzolino, 2020).

3.2. COMPOSIÇÃO MINERAL

Os minerais desempenham funções essenciais na manutenção da saúde humana, sendo classificados em macrominerais, que devem ser consumidos em maiores quantidades, e microminerais, cuja ingestão diária necessária é significativamente menor (SOUZA, 2021). Estudos indicam que as flores da bananeira apresentam de duas a cinco vezes mais minerais em sua composição, quando comparadas à polpa do fruto (Ramu *et al*., 2017). A **Tabela 2** apresenta os teores de macrominerais nas seis variedades analisadas de *Musa spp.*

Tabela 2: Macrominerais (mg/kg) em flores de variedades de *Musa* spp

Amostra	Ca	K	P	Mg	Na
B. pão	6263.96 ± 27.34^{a}	29522.02 ± 272.66^{d}	3629.26 ± 28.19^{b}	2695.13 ± 13.90^{b}	500.73 ± 51.70^{a}
B. anã	5950.48 ± 179.05^{ab}	25388.16 ± 491.55^{e}	2717.72 ± 68.85^{d}	1521.34 ± 17.11^{f}	436.03 ± 17.72^{a}
B. ouro	3646.02 ± 33.88^{c}	35366.01 ± 422.11^{b}	3250.14 ± 14.23^{c}	2067.67 ± 7.74^{e}	489.91 ± 9.18^{a}
B. prata	5444.61 ± 341.90 ^{b}	29762.11 ± 140.87^{d}	2470.98 ± 28.98^{e}	2497.06 ± 11.56^{c}	476.68 ± 29.83^{a}
B. d'água	3838.99 ± 159.78^{c}	40986.57 ± 511.85^{a}	3230.85 ± 38.04^{c}	2895.96 ± 24.24^{a}	478.17 ± 44.87^{a}
B. jardim	5660.46 ± 6.83^{b}	32037.87 ± 972.12^{c}	3787.50 ± 81.17^{a}	2262.76 ± 16.58^{d}	502.59 ± 34.09^{a}

Médias da mesma coluna que compartilham letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05).

Entre as variedades analisadas, a flor da banana-pão apresentou o maior teor de cálcio (6263,96 ± 27,34 mg/kg), enquanto a flor da banana-ouro apresentou o menor valor. De acordo com Ross *et al*. (2011), a Ingestão Diária Recomendada (RDI) de cálcio é de 1.000 mg para indivíduos entre 19 e 30 anos, independentemente do sexo, e o Nível Máximo de Ingestão Tolerável (UL) é de 2.500 mg/dia para adultos entre 19 e 50 anos (CFN, 2020). Esses dados indicam que a flor da banana-pão constitui uma fonte relevante desse mineral. Em estudo semelhante, (Basumatary & Nath (2018) relataram valores de cálcio em flores de banana na ordem de 5030,02 mg/kg.

O potássio, responsável por cerca de 5% do conteúdo total de minerais do organismo, participa de diversos processos fisiológicos, como o equilíbrio osmótico, a regulação da atividade neuromuscular e o controle do pH corporal (Reis; Calixto-Lima, 2015). Embora não haja um valor de UL estabelecido para esse nutriente (CFN, 2020), sua presença em níveis adequados é essencial para a homeostase corporal. No presente estudo, a flor da banana-d'água apresentou o maior teor de potássio (40.986,57 ± 511,85 mg/kg), valor substancialmente superior ao encontrado por Basumatary & Nath (2018), que relataram 1546,13 mg/kg.

O fósforo, o segundo macromineral mais abundante nos tecidos humanos, está envolvido em processos energéticos, funções neurológicas e musculares, síntese de colágeno e mineralização óssea (Reis; Calixto-Lima, 2015). A ingestão adequada (AI) recomendada é de 700 mg/dia para adultos a partir de 19 anos (CFN, 2020). A flor da banana-jardim apresentou o maior teor de fósforo entre as amostras analisadas (3787,00 ± 81,17 mg/kg).

O magnésio é outro mineral fundamental para o metabolismo humano, com UL de 350 mg/dia para indivíduos acima de nove anos de idade (CFN, 2020). A flor da banana-d'água apresentou a maior concentração desse elemento (2895,96 ± 24,24 mg/kg). Segundo Souza (2021), o magnésio atua em múltiplas vias bioquímicas, estando associado à saúde cardiovascular, ao relaxamento muscular, ao metabolismo da glicose e insulina, à saúde óssea e à produção de energia.

Por fim, o sódio apresentou seu maior valor na flor da banana-jardim (502,59 ± 34,09 mg/kg). Embora frequentemente associado a efeitos adversos quando consumido em excesso, o sódio é essencial para o equilíbrio osmótico, manutenção do volume circulante, flexibilidade articular e solubilidade do cálcio para incorporação ao tecido ósseo (Reis; Calixto-Lima, 2015). Na **Tabela 3** são apresentados os teores de macrominerais nas 6 variedades de *Musa* spp.

Tabela 3: Microminerais (mg/kg) em flores de variedades de *Musa* spp

Amostra	Mn	Fe	Zn	B	Cu	Cr	Co	Se
B. pão	95,60 ± 1,15^{c}	39,88 ± 0,59^{c}	39,97 ± 0,41^{a}	26,68 ± 2,62^{ab}	1,78 ± 0,12^{e}	1,68 ± 0,16^{c}	nd	nd
B. anã	9,24 ± 0,13^{f}	21,10 ± 1,00^{d}	36,09 ± 1,29^{a}	28,62 ± 2,89^{ab}	3,07 ± 0,02^{d}	0,46 ± 0,01^{c}	nd	nd
B. ouro	38,19 ± 0,81^{e}	113,33 ± 7,78^{a}	44,39 ± 7,16^{a}	22,51 ± 0,76^{bc}	6,10 ± 0,27^{b}	23,49 ± 2,12^{a}	nd	nd
B. prata	139,58 ± 1,30^{a}	26,95 ± 0,83^{d}	16,24 ± 4,06^{b}	28,69 ± 1,51^{ab}	6,87 ± 0,12^{a}	0,33 ± 0,06^{c}	nd	nd
B. d'água	103,65 ± 0,37^{b}	50,05 ± 1,42^{b}	39,75 ± 4,38^{a}	32,83 ± 4,26^{a}	6,30 ± 0,01^{b}	4,79 ± 0,39^{b}	nd	nd
B. jardim	52,95 ± 2,13^{d}	54,54 ± 0,78^{b}	46,26 ± 0,38^{a}	16,03 ± 1,88^{c}	3,62 ± 0,13^{c}	6,45 ± 0,54^{b}	nd	nd

nd: não detectado. Médias da mesma coluna que compartilham letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05).

O manganês é um micromineral essencial à formação de tecidos e ossos, atuando também na reprodução, na função imunológica, na defesa antioxidante e no metabolismo de macronutrientes (Souza, 2021). Sua ingestão máxima tolerável (UL) é de 11 mg/dia para homens e mulheres a partir de 19 anos (CFN, 2020). No presente estudo, o maior teor de manganês foi identificado na flor da banana-prata (139,58 ± 1,30 mg/kg), valor ligeiramente superior ao encontrado por Ramu *et al*. (2017), que reportaram 133,80 ± 0,6 mg/kg.

O ferro, mineral essencial para a síntese de hemoglobina e envolvido em diversas funções fisiológicas (Souza, 2021), apresentou sua maior concentração na flor da banana-ouro (113,33 ± 7,78 mg/kg). Esse valor é um pouco inferior ao observado por Basumatary & Nath (2018), que relataram 156,89 mg/kg, e também ao relatado por Ramu *et al*. (2017), com uma diferença consideravelmente mais elevado, onde identificaram de 405,50 ± 0,04 mg/kg.

O zinco é um micromineral que atua como cofator em mais de 300 enzimas e está relacionado à função imunológica, antioxidante e reprodutiva (Souza, 2021). A ingestão de suplementos de zinco não deve exceder 40 mg/dia (CFN, 2020). A flor de bananeira com maior teor de zinco foi a banana-jardim (46,26 ± 0,38 mg/kg), valor significativamente superior ao registrado por (Basumatary; Nath, 2018), que encontraram 9,69 mg/kg em *Musa balbisiana* Colla.

O boro é outro micromineral com funções relevantes, incluindo a modulação imunológica e hormonal, controle da inflamação e promoção da saúde óssea (Souza, 2021). Apesar de ainda não haver um valor de ingestão adequada (AI) estabelecido, a ingestão máxima tolerável (UL) é de 20 mg/dia (CFN, 2020). No presente estudo, a flor da banana-d'água apresentou o maior teor de boro (32,83 ± 4,26 mg/kg), valor próximo ao observado por (Ramu *et al*., 2017), que relataram 34,53 ± 0,04 mg/kg.

O cobre, por sua vez, é reconhecido por seu papel na prevenção de doenças cardiovasculares, no metabolismo ósseo e na função imunológica, além de ser cofator em diversas enzimas (Souza, 2021). O limite máximo de ingestão (UL) é de 10 mg/dia para adultos de ambos os sexos, incluindo gestantes e lactantes (CFN, 2020). A flor da banana-prata apresentou o maior teor de cobre (6,87 ± 0,12 mg/kg), valor semelhante ao encontrado por Basumatary & Nath (2018), que relataram 6,43 mg/kg, e

consideravelmente superior ao valor reportado por Ramu *et al*. (2017), de 0,52 ± 0,03 mg/kg.

O cromo destacou-se na flor da banana-ouro, que apresentou o maior teor entre as variedades analisadas (23,49 ± 2,12 mg/kg). Este mineral participa do metabolismo de carboidratos, contribuindo para a regulação da glicemia e sendo particularmente relevante em condições como síndrome metabólica, diabetes e obesidade Souza (2021). No estudo de Ramu *et al*. (2017) foi identificado um valor inferior, de 3,93 ± 0,02 mg/kg. Segundo o Conselho Federal de Nutricionistas (CFN, 2020), não há definição de UL para o cromo.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, observou-se que as flores de bananeira possuem propriedades químicas promissoras para a alimentação humana, destacando-se pelo seu potencial nutricional em macro e micronutrientes. Além de representar uma alternativa viável para o aproveitamento de resíduos agroindustriais, seu uso pode agregar valor a produtos alimentícios. Considerando o elevado teor de umidade dessas flores, propõe-se sua utilização na forma de farinha nutritiva, o que poderia favorecer o aumento da vida útil dos produtos e ampliar suas aplicações na formulação de alimentos funcionais. Essa abordagem pode contribuir para a prevenção e o tratamento de deficiências nutricionais e de determinadas patologias. No entanto, são necessários estudos adicionais voltados à saúde humana, bem como investigações sobre as diferentes variedades de flores de bananeira, a fim de aprofundar o conhecimento sobre seu potencial funcional e nutricional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM (Edital N. 008/2022 – Kunhã, processo n. 01.02.016301.03986/2022-27), à Central Analítica do IFAM-CMC e ao Laboratório do Núcleo de Estudos em Ciência e Tecnologia da Amazônica (NECTAM).

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

[1] BASUMATARY, S.; NATH, N. Assessment of chemical compositions and in vitro antioxidant properties of Musa balbisiana Colla inflorescence. **International Journal of Pharmaceutical Research**, v. 10, n. 1, p. 80–85, 2018.

[2] CFN. **Conselho Federal de Nutricionistas. Resolução CFN n°656, de 15 de julho de 2020**. [s.l: s.n.].

[3] COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 6. ed. Barueri: Manole, 2020.

[4] FAO, F. AND A. O. OF THE U. N. **Bananas**. Disponível em: <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananas/en/>.

[5] FERNANDES, L. *et al*. The Unexplored Potential of Edible Flowers Lipids. **Agriculture**, v. 8, n. 10, p. 146, 20 set. 2018.

[6] INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físicos-quimicos para análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

[7] JAWLA, S.; KUMAR, Y.; KHAN, M. Antimicrobial and antihyperglycemic activities of Musa paradisiaca flowers. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 2, p. S914–S918, fev. 2012.

[8] KRAITHONG, S.; ISSARA, U. Poly herbal formulation with anti-elastase and anti-oxidant properties for skin anti_aging. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 8, p. 530–543, 2021a.

[9] KRAITHONG, S.; ISSARA, U. A strategic review on plant by-product from banana harvesting: A potentially bio-based ingredient for approaching novel food and agro-industry sustainability. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 8, p. 530–543, 2021b.

[10] LAU, B. F. *et al*. Banana inflorescence: Its bio-prospects as an ingredient for functional foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, n. 1, p. 14–28, mar. 2020.

[11] OGUNLAJA, O. O. *et al*. Elemental Distribution and Health Risk Assessment of the Edible Fruits of Two Ficus Species, Ficus sycomorus L. and Ficus burtt-davyi Hutch. **Biological Trace Element Research**, v. 198, n. 1, p. 303–314, nov. 2020.

[12] PALMEIRA, L. *et al*. Nutritional, chemical and bioactive profiles of different parts of a Portuguese common fig (Ficus carica L.) variety. **Food Research International**, v. 126, n. June, p. 108572, dez. 2019.

[13] PANYAYONG, C.; SRIKAEO, K. International Journal of Gastronomy and Food Science Foods from banana inflorescences and their antioxidant properties : An exploratory case in Thailand. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, n. June 2021, p. 100436, 2022.

[14] PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (Musa spp) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, p. 149–163, fev. 2015.

[15] RAMU, R. *et al*. Assessment of Nutritional Quality and Global Antioxidant Response of Banana (Musa sp. CV. Nanjuangud Rasa Bale) Pseudostem and Flower. p. 74–83, 2017.

[16] REIS, N. T.; CALIXTO-LIMA, L. **Nutrição clínica: bases para prescrição**. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

[17] ROSS, A. C. *et al*. The 2011 Report on Dietary Reference Institute of Medicine: What Clinicians Need to Know. **The Journal of Clinical Encocrinplogy & Metabolism**, v. 96, p. 53–58, 2011.

[18] SHANMUGA, S. C.; SUBRAMANIAN, S. Musa Paradisiaca flower extract improves carbohydrate metabolism in hepatic tissues of streptozotocin-induced experimental diabetes in rats. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 3 SUPPL., p. S1498–S1503, 2012.

[19] SHUBHAM, S. *et al*. Imminent composition of Musa paradisiaca Blossom of Indian origin: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 5, p. 470–472, 2019.

[20] SITTHIYA, K. *et al*. Extraction and characterization of proteins from banana (Musa Sapientum L) flower and evaluation of antimicrobial activities. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, 2018.

[21] SOUZA, M. L. R. DE. **Suplementação Nutricional: guia prático para atendimento**. 1. ed. [s.l: s.n.].

[22] VILHENA, R. O. *et al*. Antidiabetic activity of Musa x paradisiaca extracts in streptozotocin-induced diabetic rats and chemical characterization by HPLC-DAD-MS. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 254, n. May 2019, p. 112666, maio 2020.

Capítulo 4

Caracterização de leite cru de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para β-caseína – um estudo exploratório

Leila Silva e Castro
Lohanne Francino dos Santos
Lorayne da Silva Melo Moreira
Wesley William Gonçalves Nascimento
Manoela Meira Balzan
Roger Wagner
Andréa Alves Simiqueli
Milton de Jesus Filho

Resumo: O leite de vaca é um produto rico em nutrientes, considerado um dos alimentos mais consumidos no mundo. Neste produto, a β-caseína representa aproximadamente 35% do total das caseínas, podendo estar presente na forma de diferentes variantes, sendo as β-caseínas A1 e A2 as mais prevalentes. A digestão da β-caseína A1 pode resultar na liberação do peptídeo opioide β-casomorfina-7 (BCM-7), associado a desconfortos gastrointestinais em indivíduos sensíveis, enquanto a β-caseína A2 tende a liberar quantidades mínimas ou inexistentes desse composto. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar, de forma exploratória, as propriedades físico-químicas e elétricas e o perfil de ácidos graxos do leite cru proveniente de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para o gene da β-caseína, a fim de identificar possíveis diferenças entre esses dois tipos de leite. As análises foram realizadas com base em metodologias oficiais, contemplando a avaliação da qualidade e da composição centesimal, a espectroscopia de impedância elétrica para a caracterização das propriedades elétricas, e a cromatografia gasosa para a determinação do perfil de ácidos graxos. Os resultados demonstraram que o leite A2A2 apresentou valores superiores de densidade, teores de gordura, proteínas, sólidos não gordurosos e sólidos totais, bem como maior impedância elétrica (módulo, componente real e imaginária) e menor admitância, na faixa de frequência de 1 kHz a 5 MHz. Em contrapartida, o leite A1A2 apresentou valores médios mais elevados de pH, teor de água e cinzas. Ao todo, foram identificados 32 ácidos graxos em ambas as amostras, com predominância dos ácidos palmítico, oleico e esteárico. As principais diferenças entre os genótipos referiram-se à abundância relativa de ácidos graxos insaturados. Os isômeros conjugados do ácido linoleico (CLA c9,t11 e CLA c12,t10) foram detectados em ambas as amostras, embora não tenham apresentado diferenças significativas ($p>0,05$) entre os grupos. Esses achados sugerem que o genótipo da β-caseína influencia em características do leite cru bovino. Contudo, ressalta-se a necessidade de estudos científicos adicionais, com maior número de amostras, para aprofundar a compreensão das implicações dessas variantes genéticas na qualidade e propriedades do leite.

Palavras-chave: leite A2, propriedades físico-químicas, impedância elétrica, perfil de ácidos graxos.

1. INTRODUÇÃO

O leite é um dos alimentos mais consumidos no mundo (Siqueira, 2019). É uma matriz alimentar nutricionalmente completa, devido ao seu teor significativo de proteínas, gorduras, açúcares, vitaminas e minerais, o que justifica a recomendação de seu consumo (Silva et al., 2019; Pereira et al., 2012). Atualmente, se discute sobre os inúmeros benefícios do leite à saúde humana. Em contrapartida, estudos têm demonstrado que o consumo deste produto pode ocasionar sensibilidade em alguns indivíduos durante o processo de digestão. Isto se deve ao tipo de β-caseína em sua composição, o que contribui para que muitas pessoas deixe-o de consumir (Barbosa et al., 2019; Barnett et al., 2014).

As proteínas do leite são divididas em dois grupos distintos: as caseínas, que compreendem 80%, e as proteínas do soro, que constituem 20%, do total da fração proteica. As caseínas são produzidas nas células epiteliais da glândula mamária e podem ser divididas em quatro frações: α S1, α S2, β e k-caseína. Dentre essas, a β-caseína se destaca por sua elevada proporção relativa, compondo de 35 a 45% do total de caseínas presentes no leite bovino (Huang et al., 2022; Li et al., 2022; Costa et al., 2021).

Segundo Dantas et al. (2023), foram identificadas doze variantes de β-caseína no leite bovino, nomeadamente: A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2 e I. Dentro deste conjunto, as variantes A1 e A2 surgem como as mais frequentemente encontradas. Estas são diferenciadas por uma mudança na sua sequência de nucleotídeos, que durante a formação da cadeia de aminoácidos da β-caseína, modifiquem a sua sequência na posição 67, devido a presença do aminoácido histidina (no alelo A1) e prolina (no alelo A2).

As caseínas são transformadas em compostos opióides, conhecidos como β-casomorfinas, com destaque para a β-casomorfina-7 (BCM-7) (Lebrun, 2009). É importante ressaltar que a presença da BCM-7 está associada ao alelo A1 da β-caseína (Kaplan et al., 2023). Existem evidências que sugerem que o consumo de leite que contenha a β-caseína A1, e consequentemente, que leve a formação de BCM-7 durante o processo digestivo, pode desencadear reações alérgicas e desconfortos intestinais (Semwal et al., 2022; Jianqin et al., 2016). Em contrapartida, em pessoas que consumirem leite que contém somente o alelo A2 da β-caseína, pode liberar insignificantes ou nenhuma quantidade de BCM-7, exceto em condições específicas *in vitro* com pH e condições enzimáticas não encontradas no intestino humano (Haq et al., 2014). Sendo assim, o leite A2 pode oferecer alívio para pessoas sensíveis aos derivados da β-caseína A1, que frequentemente apresentam desconforto após o consumo de leite. Além disso, estudos têm demonstrado que o consumo de leite A2 apresentou efeitos benéficos à saúde cardiovascular (Venn et al., 2006). Isto pode estar associado à redução de distúrbios neurológicos (Semwal et al., 2022; Kumar et al., 2021), atenuação dos sintomas gastrointestinais (Ramakrishnan et al., 2020; Ho et al., 2014; Roy et al., 2008) e a melhora da saúde de atletas (Kaplan et al., 2022; Kirk et al., 2017). Por isso, justifica o interesse dos consumidores por este produto, que consequentemente, tem aumentado a produção do leite A2 de forma expressiva em todo o mundo (CONAB, 2017; Milkpoint, 2017).

Por se tratar de um tema que tem ganhado destaque no cenário mundial, devido às potenciais propriedades funcionais do leite A2, ainda existem poucos estudos na literatura científica que avaliaram características deste produto (Bisutti et al., 2022; Vitte et al., 2022; Jung et al., 2017; Poulsen et al., 2013). Neste sentido, são necessários novos trabalhos que investiguem se existem possíveis diferenças entre os leites oriundos de vacas com variados genótipos de β-caseína utilizando distintas técnicas analíticas. Os dados exploratórios obtidos nesta pesquisa podem contribuir para verificar se existem

compostos químicos marcadores de identidade e de interesse em leite A2. Deste modo, este estudo teve como objetivo analisar amostras de leite cru bovino heterozigoto (A1A2) e homozigoto (A2A2) quanto aos parâmetros físico-químicos, impedância elétrica e composição de ácidos graxos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. REAGENTES E PADRÕES ANALÍTICOS

Neste estudo foram utilizados os seguintes reagentes e soluções: hidróxido de sódio (Alphatec®, Brasil), sulfato de cobre (Impex, Brasil), sulfato de potássio (Alphatec, Brasil), clorofórmio, metanol, solução de sulfato de sódio (1,5%), hidróxido de potássio (0,4M), hexano (Merck, Darmstadt, Alemanha), indicador Tashiro (Vermelho de metila 0,2% + azul de metileno 0,2%, Sciavicco, Brasil), fenolftaleína 1% (Êxodo® científica, Brasil), ácido bórico (Êxodo® científica, Brasil), ácido sulfúrico (Impex, Brasil), álcool isoamílico (Sciavicco, Brasil), clorofórmio (Merck, Darmstadt, Alemanha), metanol (Merck, Darmstadt, Alemanha) e solução de alizarol 72% (v/v) (LAB LAC, Brasil).

Os padrões analíticos C23:0 (tricosanoato de metila), os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME), éster metílico conjugado de ácido linoléico, isômeros *cis/trans* de éster metílico de ácido linoléico, mistura de isômeros de éster metílico de ácido linolênico, éster metílico de ácido transvacênico e o éster metílico docosapentaenóico foram obtidos da Sigma-Aldrich (EUA).

2.2. COLETA DE AMOSTRAS

As amostras foram obtidas em uma propriedade leiteira no município de Alpercata, Minas Gerais, Brasil (- Latitude: -18.9771, Longitude: -41.983 18° 58′ 38″ Sul, 41° 58′ 59″ Oeste), em julho de 2023. As amostras de leite foram obtidas de duas vacas da raça Guzerá, uma com genótipo A1A2 e a outra A2A2 para a β-caseína, ambas em boas condições sanitárias, no sexto mês de lactação e com histórico de quatro partos. Os animais foram alimentados predominantemente com pastagem, complementada por silagem de milho.

Os animais utilizados nesse estudo foram previamente genotipados por análise de DNA pela técnica de PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), para confirmação do genótipo da β-caseína que compõe o leite.

As amostras de leite foram transportadas sob refrigeração (±7 ºC) para o laboratório onde foi conduzido o estudo e armazenadas sob as mesmas condições até a realização das análises.

2.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises foram conduzidas de acordo com as metodologias propostas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016; AOAC, 2006; AOAC, 2005). A determinação de pH foi obtida utilizando um pHmetro digital da marca Mettler Toledo, modelo SevenCompact S220, previamente calibrado. A análise da acidez foi realizada por titulação com NaOH 0,1 N e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido lático.

Para a determinação da densidade do leite, utilizou-se um termolactodensímetro. A densidade aproximada e a temperatura da amostra foram observadas por meio da leitura

na cúspide do menisco do densímetro. Posteriormente, foi realizada uma correção da densidade para a temperatura de 15 °C, a fim de obter o valor corrigido da densidade do leite.

A medição do índice crioscópico do leite foi conduzida utilizando um crioscópio de bancada (ENTELBRA, MicroLak) seguindo rigorosamente as diretrizes fornecidas pelo fabricante. Os resultados obtidos foram expressos em graus Hortvet (°H).

O teor de água foi obtido por secagem em estufa convencional (THOTH Linha TH.500), a 105 ºC até peso constante e o de cinzas por incineração da amostra em mufla (ZEZIMAQ, modelo 2000C-2RP) a temperatura de 550 °C. O teor de proteína foi obtido pelo método Kjeldahl e de gordura pelo método butirométrico de Gerber.

O Extrato Seco Total (EST) foi obtido por cálculo da diferença entre 100% dos componentes e o teor de água da amostra. O extrato seco desengordurado também foi obtido por cálculo, da diferença entre EST e gordura.

O teste de alizarol foi realizado utilizando 2 mL de solução de alizarol 72% (v/v) e 2 mL de leite. As amostras foram consideradas com acidez normal e estável ao álcool 72% (v/v) se apresentassem coloração vermelha tijolo sem grumos ou com poucos grumos muito finos, conforme preconizado pela Instrução Normativa nº 77 de 26 de novembro de 2018 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

2.4. ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA

As medidas de impedância elétrica foram obtidas em analisador de impedância (HIOKI, modelo 3170), estimulado por um campo elétrico externo alternado, do tipo senoidal, com pico de 1 V para pico, em uma faixa de frequência de 1 kHz a 5 MHz. Adaptou-se ao instrumento um eletrodo de vidro compostos por duas placas paralelas de platina (constante geométrica K = 1 cm^{-1}). Em todo o experimento, a temperatura de 20 °C foi mantida constante.

Foram medidas as seguintes grandezas elétricas: módulo da impedância, partes real e imaginária da impedância e admitância.

2.5. ÁCIDOS GRAXOS

Primeiramente, as amostras de leite foram liofilizadas por meio do liofilizador (modelo SL-404, SOLAB). A extração dos lipídios foi realizada conforme a metodologia de Bligh e Dyer (1959) com modificações. Para isso, misturou-se 1 g de leite em pó, 8 mL de clorofórmio, 16 mL de metanol e 6,4 de mL água. As amostras foram homogeneizadas em agitador orbital por 30 min. Em seguida, foram adicionados 8 mL de clorofórmio e 8 mL de solução de sulfato de sódio (1,5%) e agitados por mais 2 min. Os extratos foram centrifugados e a fração orgânica (clorofórmica) foi reservada para análise do conteúdo lipídico. Após secagem dos extratos com bomba de vácuo a 40 °C, aproximadamente 20 mg de lipídios foram submetidos ao procedimento de metilação, de acordo com o procedimento de Hartman e Lago (1973). A derivatização dos lipídios em ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMEs) foi realizada pela adição de 1 mL de KOH (0,4 M) em metanol e submetidos a banho-maria em ponto de ebulição por 10 min. Em seguida, após resfriamento, foi adicionado 3 mL de H_2SO_4 (1 M) em metanol, e submetidos novamente ao banho-maria por 10 min.

Os FAMEs foram solubilizados com 2 mL de hexano e analisados em cromatógrafo gasoso equipado com detector de ionização de chama (GC/FID, Star CX 3400, Varian, Palo Alto, Estados Unidos). Para a realização das análises, 1 µL de cada extrato foi injetado em modo split (1:20) a 250 °C. O hidrogênio foi utilizado como gás de arraste a pressão constante de 25 psi. Os analitos foram separados em coluna capilar HP-88 (100 m × 0,25 mm d.i.; 0,20 µm de espessura de filme; Bellefonte, EUA). A temperatura inicial da coluna foi de 80 °C, permanecendo por 2 min e aumentando até 175 °C, a uma taxa de 10 °C/min, mantendo por 10 min. Em seguida, aumentando para 210 °C, a uma taxa de 4 °C/min, mantendo por 5 min, e finalmente até 230 °C, aumentando 5 °C/min, mantendo por 5 min em isotérmico. A identificação dos ácidos graxos foi realizada comparando os tempos de retenção experimentais com padrões de FAME Mix 37 (P/N 47885-U), éster metílico conjugado de ácido linoléico (P/N O5632), isômeros cis/trans de éster metílico de ácido linoléico (P/N 47791), mistura de isômeros de éster metílico de ácido linolênico (P/N 47792), éster metílico de ácido transvacênico (P/N 46905-U) e éster metílico docosapentaenóico (P/N 47563-U), todos oriundos da Sigma-Aldrich (EUA). Os resultados foram expressos em porcentagem da área total dos cromatogramas, considerando o fator de correção da cadeia de carbono do FID e o fator de conversão éster em ácido, conforme descrito por Visentainer (2012).

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas em três repetições. Os resultados das análises de caracterização físico-química e de ácidos graxos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância, utilizando o software Sisvar, versão 5.6. Os espectros obtidos na análise de impedância elétrica foram gerados a partir do software OriginPro 9.0.0 (64 bits) SR2 b87.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PARÂMETROS DE QUALIDADE E COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

As características físico-químicas do leite são passíveis de alterações, devido às condições genéticas e nutricionais das vacas, de forma fraudulenta ou relacionado às condições de conservação durante os processos de obtenção, armazenamento, transporte e beneficiamento do leite (Bertolini et al., 2017).

Os resultados das análises físico-químicas, conforme evidenciados na Tabela 1, demonstram que as amostras de leite analisadas estão em conformidade com os critérios estabelecidos pelo regulamento técnico de identidade e qualidade para leite cru refrigerado, de acordo com as Instruções Normativas nº 76 e 77 de 26 de novembro de 2018 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

O leite A2A2 apresentou maior densidade (1,034%); teor de gorduras (5,90%), de proteínas (3,70%), de sólidos não gordurosos (11,70%) e de sólidos totais (17,60%), enquanto o leite A1A2 obteve maior valor de pH (6,76), teor de água (85,05%) e de cinzas (0,75%). Somente a acidez titulável dos leites bovino A1A2 e A2A2 não se diferiram estatisticamente ($p>0,05$). O valor médio obtido foi de 0,18% de ácido lático (Tabela 1).

Em concordância ao observado neste trabalho, Heck et al. (2009) também verificaram que o tipo de genótipo da β-caseína teve efeito significativo em relação ao teor de proteínas de leite bovino. Por outro lado, Kumar et al. (2022), Vitte et al. (2022) e Albarella et al.

(2020) não verificaram diferenças entre os leites de vaca de genótipos heterozigoto (A1A2) e homozigoto (A2A2) quanto ao pH, teor de gordura, de proteínas, de sólidos não gordurosos e totais e de cinzas. Vitte et al. (2022) encontraram valores médios de pH, proteína, gordura e matéria seca de 6,51; 3,7%; 5,36% e 14,46%, respectivamente. Kumar et al. (2022) obtiveram teor médio de gordura de 4,20%. Foi obtido no trabalho de Albarella et al. (2020), dados de concentração de cinzas de 0,79%; de proteínas de 3,46%; de gordura de 3,74%; de sólidos não gordurosos de 8,94% e de sólidos totais de 12,73%.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos e de qualidade avaliados em leite bovino com genótipo A1A2 e A2A2 para β-caseína

Parâmetros	Leite	
	A1A2	**A2A2**
Alizarol 72% (v/v)	Estável	Estável
pH	6,76 ± 0,01[a]	6,70 ± 0,00[b]
Acidez titulável (% ácido lático)	0,17 ± 0,00[a]	0,18 ± 0,00[a]
Densidade relativa a 15ºC (g/L)	1,031 ± 0,00[b]	1,034 ± 0,00[a]
Índice crioscópico (ºH)	-0,540 ± 0,00[b]	-0,549 ± 0,00[a]
Umidade (%)	85,05 ± 0,66[a]	82,40 ± 0,03[b]
Cinzas (%)	0,75 ± 0,02[a]	0,71 ± 0,02[b]
Gordura (%)	5,50 ± 0,12[b]	5,90 ± 0,10[a]
Proteínas (%)	3,50 ± 0,03[b]	3,70 ± 0,02[a]
Sólidos não gordurosos (%)	9,45 ± 0,55[b]	11,70 ± 0,13[a]
Sólidos totais (%)	14,95 ± 0,66[b]	17,60 ± 0,03[a]

(Média ± desvio padrão). Médias seguidas pela mesma letra na linha não se diferem estatisticamente (p>0,05) pela ANOVA.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS LEITES POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA

A análise de caracterização elétrica das amostras de leite revelou que tanto a impedância (módulo, parte real e imaginária) quanto à admitância, variaram em função da frequência e do tipo de amostra (Figura 1).

Os efeitos relacionados ao módulo de impedância (Figura 1C) são mais intensos em baixas frequências. A impedância elétrica diminuiu à medida que a frequência aumentou, uma vez que ocorre uma redução no número de íons que conseguem se alinhar. Isso resulta em uma diminuição no número de cargas elétricas e consequentemente, na redução da energia dissipada e armazenada no sistema, bem como um decréscimo no sinal medido pelo módulo de impedância (Lima et al. 2022).

As Figuras 1A e 1B apresentam os espectros gerados da parte real e imaginária da impedância elétrica, respectivamente. As amostras analisadas exibiram valores de resistência aproximadamente 235 ohm para o leite A1A2 e 245 ohm para o leite A2A2, que são medidos na região do espectro de baixa frequência. Esses valores de resistência são considerados baixos, se comparado à água, por exemplo, uma vez que o leite é um eletrólito condutor devido à presença de uma concentração significativa de íons livres, em especial cloreto, sódio e potássio. A parte real, por sua vez, mostra uma leve queda para altas frequências, em razão do leite possuir um perfil capacitivo baixo e ser

predominantemente resistivo em todo o espectro, decorrente da sua baixa viscosidade, com pouco acúmulo de carga. A parte imaginária apresenta valores baixos e próximos de zero, com o pico posicionado apenas a altas frequências (>1 MHz), o que se explica devido ao fato do leite ser um sistema desorganizado com muitos íons disponíveis para condução (Lima et al. 2022).

A admitância elétrica é definida como o inverso da impedância e mede a capacidade de condução do leite em um circuito de corrente alternada. No espectro apresentado na Figura 1D, pode-se observar que a admitância tende a aumentar à medida que a frequência se torna relativamente alta, o que se deve a quantidade significativa de portadores de carga presentes no leite. Isso significa que o leite exibe uma maior capacidade de condução elétrica em frequências mais elevadas em relação à água, em decorrência da disponibilidade de íons carregados, tornando-se mais condutivo.

É interessante mencionar que alguns estudos realizaram a caracterização elétrica de amostras de leite de vaca. Lima et al. (2022) analisaram leite cru e Lopes et al. (2018) investigaram o leite UHT integral, semidesnatado e desnatado. Ambos os estudos empregaram a espectroscopia de impedância elétrica, e seus resultados demonstraram um comportamento semelhante ao encontrado no presente trabalho. As amostras analisadas por Lima et al. (2022) apresentaram valores de resistência na faixa de 500 ohms. Na pesquisa científica de Lopes et al. (2018), foram obtidos valores entre 0 e 3000 ohms.

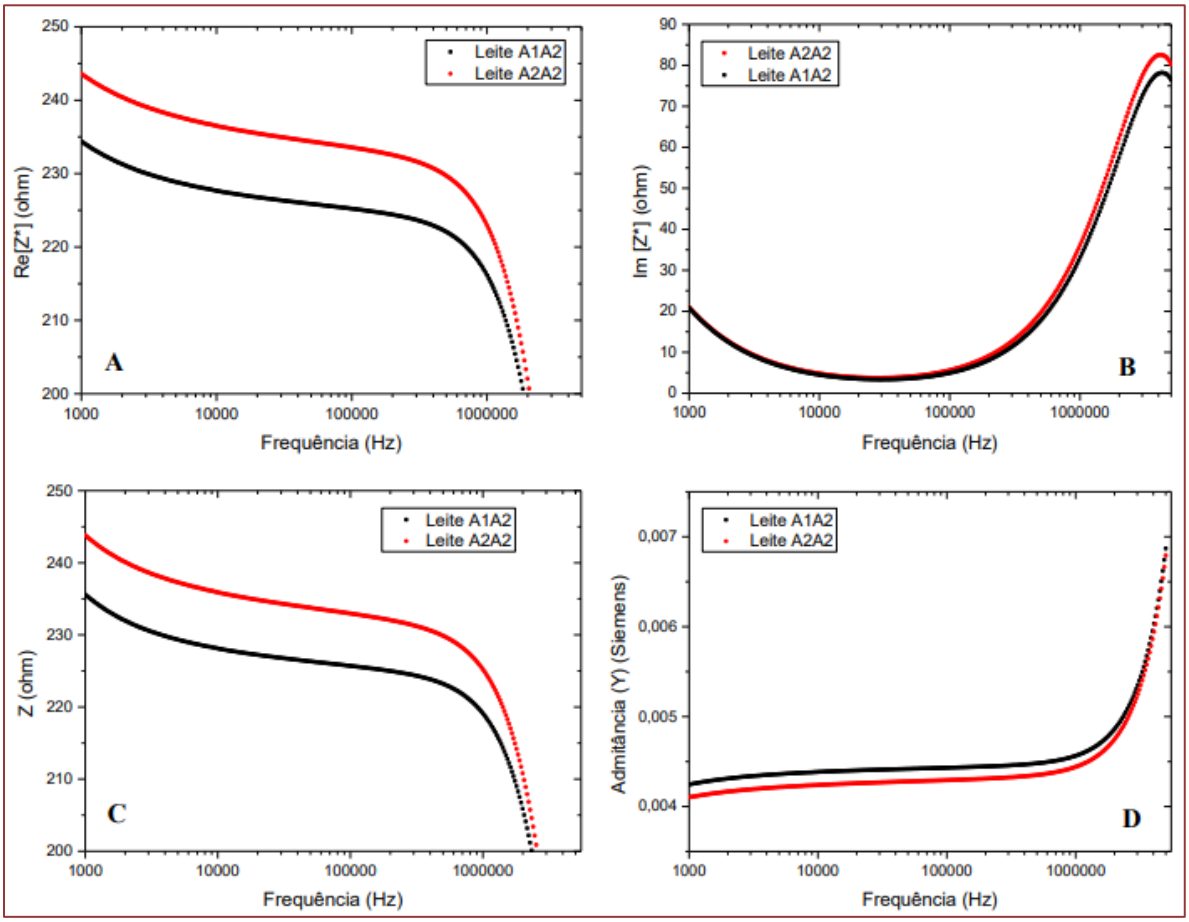
Observa-se nos espectros obtidos na Figura 1, que a amostra de leite cru de vaca de genótipo A2A2 apresentou maior impedância (módulo, parte real e imaginária) e menor admitância, em comparação com o leite de vaca de genótipo A1A2. Essas diferenças indicam que as duas amostras de leite têm propriedades elétricas distintas, o que pode estar relacionada às variações na composição química e física das amostras. A presença dos íons Na^+, K^+ e Cl^- são responsáveis pela maior parte da condutividade elétrica dos produtos lácteos (Chakraborty et al, 2018). Foi observada que a amostra de leite A1A2 apresentou um maior teor de cinzas (Tabela 1), que está relacionado aos níveis de minerais presentes no leite. Este resultado pode indicar uma das possíveis justificativas da menor impedância elétrica do leite A1A2.

Algumas pesquisas demonstraram que a variação no teor e tamanho dos glóbulos de gordura, assim como a estrutura das proteínas, influenciam significativamente a condutividade elétrica de alimentos. De acordo com o estudo de Meira et al. (2023), a impedância elétrica dos produtos lácteos cresce à medida que o teor de gordura aumenta, isso ocorre devido os glóbulos de gordura ocuparem o volume do meio condutor, impedindo a mobilidade dos íons condutores. Esses achados estão em consonância com os resultados obtidos no presente estudo, no qual o leite A2A2 apresentou maior teor de gordura (5,90%) em comparação à amostra A1A2 (5,50%). Além disso, verificou-se que o leite A2A2 apresentou menor porcentagem de umidade (82,4%), comparado ao leite A1A2 (85,05%), o que tende a reduzir a condutividade elétrica do material (Tabela 1).

Outro fato importante que vale ressaltar, é que a composição da β-caseína se difere entre os dois tipos de amostras. O leite A2A2 apresenta o aminoácido prolina na posição 67, enquanto o leite A1A2 possui o aminoácido histidina (Pal et al., 2015). A histidina é um aminoácido básico e carregado eletricamente, enquanto a prolina é um aminoácido apolar, possuindo carga elétrica neutra. Possivelmente, essa diferença estrutural na molécula da β-caseína também contribuiu para que o leite A1A2 apresente uma menor

impedância, uma vez que a fração proteica desta amostra é constituída de mais cargas elétricas livres do que o leite A2A2.

Figura 1. Caracterização elétrica de leites bovino. A) Espectro da parte real da impedância, B) Espectro da parte imaginária da impedância, C) Espectro do módulo da impedância e D) Espectro da admitância, em função da frequência



3.3. PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS

Na Tabela 2 é apresentada a composição dos ácidos graxos das amostras de leite bovino. Foram detectados nos leites A1A2 e A2A2, 31 e 32 analitos, respectivamente. No geral, foram identificados 16 ácidos graxos saturados, 8 ácidos graxos monoinsaturados e 8 ácidos graxos poli-insaturados. Os compostos mais abundantes encontrados nas amostras foram o ácido palmítico (30,19 a 31,86%), o ácido oleico (26,41 a 26,88%) e o ácido esteárico (14,84 a 17,86%). Ambas as matrizes alimentícias apresentaram mais de 61% da abundância total de ácidos graxos saturados. Quanto ao conteúdo dos ácidos graxos insaturados, os leites são constituídos de, aproximadamente, no máximo de 36% de ácidos graxos monoinsaturados e menos de 3% de ácidos graxos poli-insaturados. Martini et al. (2023) também encontraram maiores proporções de ácidos graxos saturados em leite cru (71,73%). Ademais, os ácidos palmítico (35,95%) e oleico (19,97%) apresentaram maiores concentrações nas amostras analisadas. Porém, o ácido mirístico foi o terceiro composto mais abundante (12,16%), diferente do encontrado no presente

estudo. Róin et al. (2023) identificaram 17 compostos ao avaliarem o perfil de ácidos graxos de leite de vacas dinamarquesas. Além disto, a fração de gordura das amostras investigadas continham maiores teores de ácido palmítico (30,74%) e o ácido oleico (20,51%), e o somatório da proporção de ácidos graxos saturados e monoinsaturados foi acima de 90%, o que corrobora ao encontrado neste trabalho nos leites A1A2 e A2A2.

Dentre os ácidos graxos saturados, apenas o C14:0, C15:0, C16:0 e C18:0 tiveram influência significativa ($p<0,05$) do genótipo da β-caseína dos leites. O C18:0 foi o único composto de maior abundância no leite A2A2. Estes resultados estão em consonância com os obtidos no estudo de De Vitte et al. (2022), que investigaram leite de vaca mestiça (Simental x Holandesa) na Lituânia. No entanto, a concentração dos ácidos graxos saturados de cadeia curta (C11:0), média (C13:0) e longa (C22:0 e C24:0) foi menor no leite A2A2, o que não foi observada nas amostras de leite de vaca Guzerá analisadas neste trabalho.

Somente seis ácidos insaturados não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) entre as amostras, sendo eles: C18:1 *trans*-9; C18:1 *cis*-9; CLAS c9,t11; CLAS c12,t10; C20:2 n6 e C20:4 n6. O Leite A2A2 apresentou maior abundância do C16:1, C17:1, C18:1 *trans*-11, C18:1 *cis*-7, C18:2, α-C18:3, C20:1e C20:3 *cis* n3,6,9, quando comparado ao leite A1A2. O composto γ – C18:3 não foi detectado no leite bovino heterozigoto A1A2. No estudo de De Vitte et al. (2022), foram identificados seis ácidos graxos monoinsaturados e sete ácidos graxos poli-insaturados. Ao contrário deste estudo, todos os compostos tiveram influência significativa ($p<0,01$) do genótipo A1 e A2 da β-caseína do leite bovino cru. O leite A2A2 quando comparado com o leite A1A2, apresentou maior concentração do 16:1 n7, 17:1 c10, 18:1 c9, 18:1 t9, 18:2-n6, 18:3-n3, 20:4-n6 e 20:5-n3. Perna et al. (2016) também verificaram o efeito da variante da β-caseína em relação ao teor de alguns ácidos graxos insaturados, como o C16:1 *cis*-7, C16:1 *cis*-9, C18:1n-9 (*trans*), C18:2n-6 (*cis+trans*) e C18:3, de leite de vacas holandesas italianas.

Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e média (AGCM) contribuem para a regulação do metabolismo celular e desempenham um papel importante na sinalização intracelular (Schönfeld et al., 2016). Nos leites analisados neste trabalho, foram encontrados de 2,69 a 3,08 % de AGCC e de 43,90 a 47,06 % de AGCM (Tabela 2). Em derivados lácteos, o C4:0 é o AGCC mais importante (Gómez-Cortés et al., 2018). Este composto foi encontrado nas duas amostras investigadas. Ele exerce múltiplas funções no organismo, como: contribui na redução de processos inflamatórios, é fonte de energia primária para as células, promove a saúde e integridade do intestino e a saciedade, apresenta atividade antimicrobiana e inibe a carcinogênese do colón (Gómez-Cortés et al., 2018). Ademais, pesquisas científicas evidenciaram que o consumo de AGCM apresentou efeitos positivos no controle de peso e no metabolismo lipídico (Gómez-Cortés et al., 2018; Bohl et al., 2017; Mumme et al., 2015).

Os ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) representam quase 50% da abundância do total dos ácidos graxos quantificados nas amostras de leite (Tabela 2). Dentre eles, a atenção deve ser voltada para os poli-insaturados, visto que, diversos estudos têm demonstrado que o seu consumo tem efeitos benefícios à saúde (Mollica et al., 2021), como na redução do risco de doenças cardiovasculares (Sanders et al., 2006), na redução do avanço do processo aterosclerótico em pacientes com doença coronariana (Lopez et al., 2003), na desaceleração do crescimento do câncer e no aumento a eficácia dos tratamentos quimioterápicos (Hardman et al., 2002), bem como na redução da neuroinflamação e na manutenção da saúde mental (Chao et al., 2020; Eckert et al., 2013). Além disso, alguns destes compostos são considerados antiinflamatórios potentes, capazes de reduzir o risco

de resistência à insulina e melhorar os distúrbios associados à obesidade (Mollica et al., 2021).

O leite e seus derivados são algumas das principais fontes de ácidos graxos conjugados (CLAS). Segundo Mollica et al. (2021), o ácido linoleico conjugado-c9, t11 é o principal isômero, sendo encontrado em maior concentração na gordura do leite. Esta informação está de acordo com o obtido neste estudo, visto que os ácidos conjugados CLAS c9, t11 e o CLAS c12, t10 foram detectados nas amostras e apresentaram teores médios de 0,66% e 0,17%, respectivamente. Não foi observada diferença significativa ($p>0,05$) em relação à abundância destes CLAS entre as amostras de leite A1A2 e A2A2. Os CLAS exibem efeitos antitumorais, antiaterosclerose, antidiabéticos e antiobesidade, *in vivo* e *in vitro*, e também modulam o sistema imunológico (Dilzer et al., 2012; Churruca et al., 2009).

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos de leite bovino com genótipo A1A2 e A2A2 para β-caseína

Ácidos graxos	Leite	
	A1A2	A2A2
Ácido butírico (C4:0)	0,73 ± 0,02[a]	0,60 ± 0,07[a]
Ácido capróico (C6:0)	0,62 ± 0,02[a]	0,50 ± 0,06[a]
Ácido caprílico (C8:0)	0,48 ± 0,01[a]	0,43 ± 0,05[a]
Ácido cáprico (C10:0)	1,22 ± 0,05[a]	1,13 ± 0,11[a]
Ácido undecanóico (C11:0)	0,03 ± 0,03[a]	0,03 ± 0,00[a]
Ácido láurico (C12:0)	1,80 ± 0,04[a]	1,74 ± 0,14[a]
Ácido tridecanóico (C13:0)	0,05 ± 0,00[a]	0,08 ± 0,01[a]
Ácido mirístico (C14:0)	8,40 ± 0,08[a]	7,01 ± 0,44[b]
Ácido miristoleico (C14:1)	0,93 ± 0,01[a]	0,68 ± 0,04[b]
Ácido pentadecanóico (C15:0)	1,27 ± 0,01[a]	1,23 ± 0,05[b]
Ácido palmítico (C16:0)	31,86 ± 0,39[a]	30,19 ± 0,60[b]
Ácido palmitoleico (C16:1)	2,75 ± 0,02[b]	2,97 ± 052[a]
Ácido heptadecanóico (C17:1)	0,81 ± 0,00[b]	0,96 ± 0,01[a]
Ácido esteárico (C18:0)	14,84 ± 0,18[b]	17,86 ± 0,64[a]
Ácido elaídico (C18:1 *trans*-9)	0,57 ± 0,05[a]	0,65 ± 0,11[a]
Ácido vacênico (C18:1 *trans*-11)	2,79 ± 0,18[b]	3,14 ± 0,21[a]
Ácido oleico (C18:1 *cis*-9)	26,88 ± 0,18[a]	26,41 ± 0,68[a]
Isômero ácido oleico (C18:1 *cis*-7)	0,60 ± 0,00[b]	0,73 ± 0,03[a]
Ácido linoleico (C18:2)	0,98 ± 0,03[b]	1,16 ± 0,03[a]
Ácido γ – linolênico (γ – C18:3)	n.d	0,02 ± 0,01[a]
Ácido α – linolênico (α – C18:3)	0,30 ± 0,01[b]	0,33 ± 0,01[a]
Ácido linoleico conjugado-c9, t11 (CLAS c9, t11)	0,67 ± 0,02[a]	0,66 ± 0,04[a]
Ácido linoleico conjugado-c12, t10 (CLAS c12, t10)	0,17 ± 0,00[a]	0,16 ± 0,02[a]
Ácido araquídico (C20:0)	0,26 ± 0,00[a]	0,28 ± 0,02[a]
Ácido eicosenóico (C20:1)	0,03 ± 0,00[b]	0,05 ± 0,01[a]
Ácido dihomo α linolênico (C20:3 *cis* n3,6,9)	0,05 ± 0,00[b]	0,09 ± 0,01[a]
Ácido eicosadienóico (C20:2 n6)	0,09 ± 0,01[a]	0,10 ± 0,00[a]

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos de leite bovino com genótipo A1A2 e A2A2 para β-caseína. (continuação)

Ácidos graxos	Leite	
	A1A2	A2A2
Ácido araquidônico (C20:4 n6)	0,11 ± 0,00[a]	0,12 ± 0,01[a]
Ácido heneicosanóico (C21:0)	0,05 ± 0,00[a]	0,04 ± 0,00[a]
Ácido beênico (C22:0)	0,10 ± 0,00[a]	0,11 ± 0,01[a]
Ácido tricosanóico (C23:0)	0,06 ± 0,00[a]	0,08 ± 0,01[a]
Ácido lignocérico (C24:0)	0,08 ± 0,01[a]	0,10 ± 0,01[a]
∑AGS	61,85	61,37
∑AGMI	35,36	35,59
∑AGPI	2,37	2,64
∑AGCC	3,08	2,69
∑AGCM	47,06	43,90
∑AGCL	49,44	53,05

Dados expressos em %. (Média ± desvio padrão). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente (p>0,05) pela ANOVA. AGS: Ácidos Graxos Saturados; AGMI: Ácidos Graxos Monoinsaturados; AGPI: Ácidos Graxos Poli-insaturados; AGCC: Ácidos Graxos de Cadeia Curta (C_4-C_{11}); AGCM: Ácidos Graxos de Cadeia Média (C_{12}-C_{16}); AGCL: Ácidos Graxos de Cadeia Longa (C_{17}-C_{24}); n.d: Não detectado.

4. CONCLUSÃO

Os dados exploratórios obtidos neste estudo forneceram informações importantes sobre a influência da variante da β-caseína A1 e A2 nas características físico-químicas e elétricas e na composição dos ácidos graxos de leite bovino cru. O leite A2A2 apresentou maior densidade; teor de gorduras, de proteínas, de sólidos não gordurosos e de sólidos totais, enquanto o leite A1A2 obteve maior valor de pH, teor de água e de cinzas. A espectroscopia de impedância elétrica demostrou que os leites analisados possuem comportamento elétrico distinto para faixa de frequência avaliada. Na fração lipídica, foram detectados aproximadamente 32 ácidos graxos nas duas amostras, sendo estes perfis constituídos principalmente por compostos saturados, com destaque para o ácido palmítico. Além disso, as principais diferenças entre o leite A1A2 e A2A2 foram evidenciadas em relação à abundância dos ácidos graxos insaturados. Embora sejam necessários mais estudos com maior amostragem, este trabalho sugere que, os leites de vacas homozigotas e heterozigotas possuem diferenças quanto ao teor de macronutrientes e micronutrientes e que essas informações podem auxiliar os produtores na obtenção de produtos lácteos com características exclusivas e de maior valor agregado. Além disso, esses possíveis marcadores têm potencial para auxiliar as indústrias e os órgãos fiscalizadores futuramente na identificação da autenticidade do leite A2.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a proprietária da fazenda leiteira que doaram as amostras e o Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela parceria na realização das análises.

REFERÊNCIAS

[1] Albarella, S.; Selvaggi, M.; D'Anza, E.; Cosenza, G.; Caira, S.; Scaloni, A.; Fontana, A.; Peretti, V.; Ciotola, F. (2020). Influence of the casein composite genotype on milk quality and coagulation properties in the endangered Agerolese cattle breed. Animals (Basel). 10(5):892. https://doi.org/10.3390/ani10050892

[2] Barbosa, M.; Souza, A.; Tavares, G.; Antunes, A. (2019). Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. Segurança alimentar e nutricional, v. 26, p. e019004-e019004. doi: 10.20396/san.v26i0.8652981

[3] Barnett, M.; McNabb, W.; Roy, N.; Woodford, K.; Clarke, A. (2014). Dietary A1 β-casein affects gastrointestinal transit time, dipeptidyl peptidase-4 activity, and inflammatory status relative to A2 β-casein in Wistar rats. International journal of food sciences and nutrition, v. 65, n. 6, p. 720-727. https://doi.org/10.3109/09637486.2014.898260

[4] Bertolini, A.; Rossi, G. (2017). Análises físico-químicas e detecção de fraudes em leite tratado termicamente por Ultra Alta Temperatura (UAT) comercializado na Região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal, v 11(4). p. 374 – 381, 2017.

[5] Bisutti, V.; Pegolo, S.; Giannuzzi, D.; Mota, L. F. M.; Vanzin, A.; Toscano, A.; Trevisi, E.; Ajmone; Marsan, P.; Brasca, M.; Cecchinato, A. (2022). The β-casein (CSN2) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. Journal of Dairy Science, 105(5), 3794–3809. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2021-21537

[6] Bligh, E. G.; Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37 (8), 911-917. doi: 10.1139/o59-099

[7] Bohl, M.; Bjørnshave, A.; Larsen, M. K.; Gregersen, S.; Hermansen, K. (2017). The effects of proteins and medium-chain fatty acids from milk on body composition, insulin sensitivity and blood pressure in abdominally obese adults. European journal of clinical nutrition, 71(1), 76-82. doi: 10.1038/ejcn.2016.207

[8] Brasil. Instrução normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. Diário Oficial da União, p. 1–8,2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/52750137/do1-2018-11-30-instrucao-normativa-n-76-de-26-de-novembro-de-2018-52749894IN%2076 . Acesso em: 01 out. 2023.

[9] Brasil. Instrução normativa nº 77, de 26 de novembro de 2018. Diário Oficial da União, p. 1–8,2018. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/plano-de-qualificacao-de-fornecedores-de-leite/arquivos-do-pqfl/IN772018QualificodefornecedoresdeleiteatualizadapelaIN5919.pdf. Acesso em: 01 out. 2023.

[10] Chakraborty, M.; Biswas, K.(2018). Limit of detection for five common adulterants in milk: A study with different fat percent. IEEE Sensors Journal, v 18(6). p. 2395 - 2403. doi:10.1109/JSEN.2018.2794764

[11] Chao, O.; Velasco, E.; Pathak, S.; Maitra, S.; Zhang, H.; Duvick, L.; Wickman, K.; Orr, H.; Hirai, H.; Yang, Y. (2020). Targeting inhibitory cerebellar circuitry to alleviate behavioral deficits in a mouse model for studying idiopathic autism. Neuropsychopharmacology. 45:1159–1170. doi: 10.1038/s41386-020-0656-5.

[12] Churruca, I.; Fernández-Quintela, A.; Portillo, M. (2009). Conjugated linoleic acid isomers: differences in metabolism and biological effects. Biofactors, v. 35, n. 1, p. 105-111. doi: 10.1002/biof.13

[13] Conab-Companhia Nacional de Abastecimento. Conjuntura mensal Especial. Leite e derivados. Abril, 2017. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 01 set. 2023.

[14] Costa, F.; Maricato, E.; Dias, A.; Baptista E. (2021). Proteínas do soro do leite: propriedades funcionais e benefícios para a saúde humana. Lecturas: Educación Física y Deportes, v. 25, n. 272. https://doi.org/10.46642/efd.v25i272.691

[15] Dantas, A.; Kumar, H.; Prudencio, E.; Junior, L.; Orellana-Palma, P.; Dosoky, N.; Nepovimova, E.; Kuca, K.; Cruz-Martins, N.; Verma, R.; Manickam, S.; Valko, M.; Kumar, D. (2013). An approach on detection, quantification, technological properties, and trends market of A2 cow milk. Food Research International, v. 167. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112690

[16] Dilzer, A.; Park Y. (2012). Implication of conjugated linoleic acid (CLA) in human health. Critical

reviews in food science and nutrition, v. 52, n. 6, p. 488-513. doi:10.1080/10408398.2010.501409

[17] Eckert, G.; Lipka, U.; Muller W. (2012). Omega-3 fatty acids in neurodegenerative diseases: Focus on mitochondria. Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids. 2013;88:105–114. doi: 10.1016/j.plefa.05.006.

[18] Gómez-Cortés, P.; Juárez, M.; Fuente, M. (2018). Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision. Trends in Food Science & Technology, 81: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.014

[19] Hardman, W. (2002). Omega-3 fatty acids to augment cancer therapy. J. Nutr. 132:3508S–3512S. doi: 10.1093/jn/132.11.3508S

[20] Hartman, L.; Lago, R.C. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. Lab Pract 22, 475–476.

[21] Haq, M.; Kapila, R.; Sharma, R.; Saliganti, V.; Kapila, S. (2014). Comparative evaluation of cow β-casein variants (A1/A2) consumption on Th 2-mediated inflammatory response in mouse gut. European journal of nutrition, v. 53, n. 4, p. 1039-1049. https://doi.org/10.1007/s00394-013-0606-7

[22] Heck, J. M. L. A.; Schennink, H. J. F.; Van Valenberg, H.; Bovenhuis, M. H. P. W.; Visker, J. A. M.; Van Arendonk, A. C. M.; Van Hooijdonk. (2009). Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. Journal of Dairy Science, Champaign, v.92, p.1192-1202. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1208.

[23] Ho, S.; Woodford, K.; Kukuljan, S.; Pal, S. (2014).Comparative effects of A1 versus A2 beta-casein on gastrointestinal measures: a blinded randomised cross-over pilot study. European journal of clinical nutrition, v. 68, n. 9, p. 994-1000. https://doi.org/10.1038/ejcn.2014.127

[24] Huang, J.; Zhang, L.; Lan, H.; Zhou P. (2022). How to adjust α-lactalbumin and β-casein ratio in milk protein formula to give a similar digestion pattern to human milk? Journal of Food Composition and Analysis, 110, Article 104536. https://doi.org/ 10.1016/j.jfca.2022.104536

[25] Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: IMESP; 2008.

[26] Jianqin, S.; Leiming, X.; Lu, X.; Yelland, G.W.; Ni, J.; Clarke, A.J. (2016). Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. Nutr J. 15:1–16. doi: 10.1186/s12937-016-0164-y

[27] Jung, T.; Hwang, H.; Yun, S.; Lee, W.; Kim, J.; Ahn, J.; Jeon, W.; Han K. (2017). Hypoallergenic and Physicochemical Properties of the A2-Casein Fraction of Goat Milk: Korean Journal, v. 37, n. 6, p. 940-947. https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.6.940.

[28] Kaplan, M.; Baydemir, B.; Günar, B.; Arslan, A.; Duman, H.; Karav, S. (2022). Benefits of A2 Milk for Sports Nutrition, Health and Performance: Frontiers, v. 9, n. 935344, p. 1-8. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.935344/full. Acesso em: 10 set. 2023.

[29] Kaplan, Y.; Tekerlí, M. (2023). "Genetic parameters of growth, reproductive, and productive characteristics in Anatolian buffaloes," Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences: Vol. 47: No. 3, Article 7. https://doi.org/10.55730/1300-0128.4289

[30] Kirk, B.; Mitchell, J.; Jackson, M.; Amirabdollahian, F.; Alizadehkhaiyat, O.; Clifford, T. (2017). A2 Milk Enhances Dynamic Muscle Function Following Repeated Sprint Exercise, a Possible Ergogenic Aid for A1-Protein Intolerant Athletes?; Nutrients; v.9, n. 94, p. 1-14. doi: 10.3390/nu9020094.

[31] Kumar, A.; Kumar, S.; Singh, R.; Chauhan, A.; Kumar, A.; Sonwane, A.; Singh R. (2021). Investigation of genetic polymorphism at β-casein A1/A2 loci and association analysis with production & reproduction traits in Vrindavani crossbred cows. Animal Biotechnology, 1–9. https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1917423.

[32] Lebrun, I. (2009). Peptídeos bioativos derivados do leite e suas ações no sistema 483 nervoso central. In: Antunes AEC, PACHECO MTB. Leite para adultos: mitos e fatos 484 frente à ciência. São Paulo.

[33] Lima, L.; Santos, I.; Silva, B.; Anjos, V.; Bell, M.; Nascimento, W. (2022). Electrical characterization of milk samples by Electrical Impedance Spectroscopy (EIS): QUARKS, v.4, n.1. p. 24-33. https://doi.org/10.34019/2674-9688.2022.v4.36763

[34] Li, X.; Spencer, G.; Ong, L.; Gras, S. (2022). Beta casein proteins–A comparison between caprine and bovine milk. Trends in Food Science & Technology, 121, 30-43. doi: 10.1016/j.tifs.2022.01.023

[35] Lopes, A.; Machado, J.; Ramalho, E.; Silva, V. (2017). Milk characterization using electrical impedance spectroscopy and fractional models. *Food Analytical Methods*, *11*(3), 901-912. ttps://doi.org/10.1007/s12161-017-1054-4

[36] López, P.; Ortega, R. M. (2003). Omega-3 fatty acids in the prevention and control of cardiovascular disease. Eur. J. Clin. Nutr. 57:S22–S25. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601805

[37] Martini, M.; Altomonte, I.; Sodi, I.; Vasylieva, Y.; Salari, F. (2023). Sterol, tocopherol, and bioactive fatty acid differences between conventional, high-quality, and organic cow milk. Journal of Dairy Science, 106(12), 8239-8248. doi: 10.3168/jds.2023-23378

[38] Meira, A.; Morais, L.; Paula, M.; Pinto, S.; Resende, J. (2023). Application of electrical impedance spectroscopy for the characterisation of yoghurts: International Dairy Journal, v.141, n.105625, p. 1-8. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105625

[39] MilkPoint. Criatórios estão selecionando seus plantéis para a comercialização de animais e leite A2A2 2017.

[40] Mollica, M.; Trinchese, G.; Cimmino, F.; Penna, E.; Cavaliere, G.; Tudisco, R.; Musco, N.; Manca, C.; Catapano, A.; Monda, M.; Bergamo, P.; Banni, S.; Infascelli, F.; Lombardi, P.; Crispino, M. (2021). Milk fatty acid profiles in different animal species: Focus on the potential effect of selected pufas on metabolism and brain functions. Nutrients, 13(4), 1111. doi: 10.3390/nu13041111

[41] Mumme, K.; Stonehouse, W. (2015). Effects of medium-chain triglycerides on weight loss and body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 115(2), 249-263. doi: 10.1016/j.jand.2014.10.022

[42] Pal, S.; Woodford, K.; Kukuljan, S.; Ho, S. (2015). Milk intolerance, beta-casein and lactose. Nutrients, v. 7, n. 9, p. 7285-7297. doi: 10.3390/nu7095339

[43] Pereira, M.; Brumano, L.; Kamiyama, C.; Pereira, J.; Rodarte, M.; Pinto, M. (2012). Lácteos com baixo teor de lactose: uma necessidade para portadores de má digestão da lactose e um nicho de mercado. Rev. Inst. Latic."Cândido Tostes", Nov/Dez, nº 389, 67: 57-65. doi: 10.5935/2238-6416.20120079

[44] Poulsen, N.; Bertelsen, H.; Jensen, H.; Gustavsson, F.; Glantz, M.; Månsson, H.; Andrén, A.; Paulsson, M.; Bendixen, C.; Buitenhuis, A.; Larsen, L. (2013). The occurrence of noncoagulating milk and the association of bovine milk coagulation properties with genetic variants of the caseins in 3 Scandinavian dairy breeds. Journal of Dairy Science, 96(8), 4830–4842. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2012-6422

[45] Ramakrishnan, M.; Eaton, T.; Sermet, O.; Savaiano, D. (2020). Milk Containing A2 β-Casein ONLY, as a Single Meal, Causes Fewer Symptoms of Lactose Intolerance than Milk Containing A1 and A2 β-Caseins in Subjects with Lactose Maldigestion and Intolerance: A Randomized, Double-Blind, Crossover Trial. Nutrients. 17;12(12):3855. doi: 10.3390/nu12123855. PMID: 33348621; PMCID: PMC7766938.

[46] Róin, N.; Lokuge, G.; Fredsted, M.; Sundekilde, U.; Larsen, M.; Larsen, M.; Poulsen, N. (2023). Variations in fatty acids, micronutrients and metabolites in discrete milk lines of Danish dairy milk. International Dairy Journal, 147, 105786. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105786

[47] Roy, B. (2008). Milk: the new sports drink? a review. J Int Soc Sports Nutr. 5:15. doi: 10.1186/1550-2783-5-15

[48] Sanders, T.; Gleason, K.; Griffin, B.; Miller, G. (2006). Influence of an algal triacylglycerol containing docosahexaenoic acid (22: 6n-3) and docosapentaenoic acid (22: 5n-6) on cardiovascular risk factors in healthy men and women. Br. J. Nutr. 95:525–531. doi: 10.1079/BJN20051658.

[49] Semwal, R.; Joshi, S.; Semwal, R.; Sodhi, M.; Upadhyaya, K.; Semwal, D. (2022). Effects of A1 and A2 variants of β-casein on human health-is β-casomorphin-7 truly a harmful peptide in cow milk? *Nutrire.* 47:8. doi: 10.1186/s41110-022-00159-7.

[50] Silva, V.; Coelho, A. (2019). Causas, sintomas e diagnóstico da intolerância à lactose e alergia ao leite de vaca. Revista Saúde UniToledo, Araçatuba, SP, v. 03, n. 01, p. 20-31. Disponível em: http://www.ojs.toledo.br/index.php/saude/article/view/2936/476. Acesso em: 06 set.2023.

[51] Siqueira, K. (2019). O mercado consumidor de leite e derivados. In: Comunicado Técnico EMBRAPA GADO DE LEITE, 120. Minas Gerais. v. 1, p. 17, 2019. Disponível em:

https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1110792/o-mercado-consumidorde-leite-e-derivados. Acesso em: 06 set. 2023.

[52] Schönfeld, P.; Wojtczak, L. (2016). Short-and medium-chain fatty acids in energy metabolism: the cellular perspective. Journal of lipid research, 57(6), 943-954. doi: 10.1194/jlr.R067629

[53] Venn, B.; Skeaff, C.; Brown, R.; Mann, J.; Green, T. (2006). A comparison of the effects of A1 and A2 β-casein protein variants on blood cholesterol concentrations in New Zealand adults. *Atherosclerosis.* 188:175–178. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2005.10.020.

[54] Visentainer, J. (2012) Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. Quim Nova, 19, 380-385. https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000200008

[55] Vitte, K.; Kerziene, S.; Klementaviciute, J.; Vitte, M.; Miseikine, R.; Kudlinskiene, L.; Cepaité, J.; Dilbiene, V.; Stankevicius, R. (2022). Relationship of β-casein genotypes (A1A1, A1A2 and A2A2) to the physicochemical composition and sensory characteristics of cow´s milk. *J. Appl. Anim. Res.* 50:161–166. doi: 10.1080/09712119.2022.2046005.

Capítulo 5

Caracterização química e físico-química do soro de queijo "tipo coalho" produzido no Cariri paraibano

Isanna Menezes Florêncio
Elainy Virgínia dos Santos Pereira
Flávia Carolina Alonso Buriti
Danielly Barbosa dos Santos
Sonally de Oliveira Lima
Eliane Rolim Florentino
Flávio Luiz Honorato da Silva

Resumo: O soro de queijo é um subproduto resultante da fabricação do queijo ou da extração da caseína e contém, aproximadamente, metade dos sólidos presentes no leite. O aproveitamento do soro de queijo é uma maneira de minimizar os problemas causados pela disposição inadequada deste soro, tornando-se matéria-prima bastante interessante na fabricação de inúmeros produtos, entre eles a aguardente. O objetivo deste trabalho foi a caracterizar de forma química e físico-química o soro de queijo "Tipo Coalho", produzido em indústria de laticínio do Cariri paraibano, coletado e acondicionado de maneira que não alterasse sua composição. A matéria-prima utilizada soro foi caracterizado, para conhecimento de seus componentes, como: sais minerais, proteínas, lactose e extrato seco total. Os resultados obtidos revelaram-se satisfatórios no que se refere à caracterização do soro, evidenciando um bom teor de proteínas e sais minerais, o que o torna essencial para a sua qualidade nutricional.

Palavras-chave: Subproduto, Aproveitamento, Composição.

1. INTRODUÇÃO

O queijo de coalho é um produto bastante consumido, principalmente no Nordeste brasileiro, produzido de forma artesanal por produtores rurais e pequenas empresas; ele é obtido por coagulação enzimática utilizando-se, na maioria das vezes, leite cru, de massa crua prensado ou não, salgado e não maturado. Devido às precárias condições de processamento apresenta uma composição físico-química bastante variada, de acordo com a matéria-prima utilizada não havendo nenhum tipo de padronização do leite nem das etapas de processamento (Cavalcante *et al.,* 2017; Silva *et al.,* 2021).

O soro de queijo, tecnicamente intitulado "lactosoro", é um subproduto resultante da fabricação de queijo ou da extração da caseína e contém, aproximadamente, metade dos sólidos presentes no leite, incluindo proteínas, lactose, sais minerais, vitaminas hidrossolúveis e alguma gordura. As proteínas do lactosoro possuem um elevado valor nutricional, devido ao seu conteúdo em aminoácidos essenciais e apresentam conformações globulares compactas que lhes confere propriedades funcionais próprias (Mendes; Souza, 2017).

A porção ou fase aquosa do leite (soro), resultante da dessora do coágulo e pode ser caracterizado como um líquido amarelo-esverdeado; dependendo do tipo de queijo, pode possuir sabor ligeiramente ácido ou doce (Oliveira *et al.,* 2024). Durante a fabricação de queijos, entre 85% e 95% do volume total de leite se transforma em soro. Para se ter uma ideia, a cada 10 litros de leite utilizados, obtém-se cerca de 1 kg de queijo e aproximadamente 9 litros de soro. Esse subproduto concentra cerca de metade dos sólidos originalmente presentes no leite, incluindo os componentes mais valiosos, como proteínas solúveis, nitrogênio não proteico, sais minerais, vitaminas e, principalmente, lactose (Moreira *et al., 2010)* apud (Saraiva; Pinto, 2024).

As proteínas do soro possuem um dos mais altos índices de valor biológico em comparação a outras fontes de proteínas, tais como: ovos, leite, carne bovina e soja. O Índice de Eficiência de Proteínas (IEP) do soro é de 3,2, o IEP se baseia em uma escala que varia de 0 a 3,5 e permite avaliar a qualidade das proteínas, ou seja, quanto mais elevado o valor IEP melhor a qualidade da proteína. Desta forma, o IEP das proteínas do soro permite considerá-los excelentes do ponto de vista nutricional (Shahid et al., 1999).

Assim, a extração/recuperação das proteínas do soro é alternativa tanto para minimizar os problemas causados pela inadequada disposição do soro como para se obter um aglomerado proteico que represente um alimento de baixo custo (Andrade, 2022).

São constantes os esforços para aproveitamento de resíduos agroindustriais em todo o mundo. Em particular, o soro do leite, pela abundância de produção, características nutricionais e elevada capacidade poluente, tem sido, há tempo, motivo de vários estudos (Freitas *et al*, 2020). Faz-se necessário, porém, o estudo de formas para conservá-lo e utilizá-lo, minimizando problemas, tanto de ordem ambiental como nutricional, em benefício da fauna, flora, animais domésticos e do próprio homem, utilizando-se o soro como alimento de alto valor nutricional.

Desse modo, o presente projeto teve como objetivo geral a caracterização físico-química do soro de queijo de coalho produzido por uma indústria de laticínios localizada no Cariri Paraibano.

2. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o material e as metodologias aplicadas nas diversas etapas desenvolvidas no estudo.

2.1. MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada neste estudo foi o soro resultante da produção de queijo "Tipo Coalho" fabricado em indústria de laticínio localizada na zona rural da cidade de Caturité, PB (Cooperativa Agropecuária do Cariri Ltda). Após ser coletado e refrigerado, o soro foi armazenado em recipientes plásticos e transportado para o Laboratório de Engenharia Bioquímica da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SORO

A caracterização do soro foi realizada em duas etapas: soro *in natura*, visando conhecer os componentes presentes no mesmo e depois da operação de extração das proteínas totais, através das seguintes determinações:

2.2.1. ACIDEZ

Determinada através do método Dornic, que se baseia na titulação do soro com a solução Dornic (N/9), empregando-se a fenolftaleína como indicador do ponto final da titulação. O resultado foi expresso em Graus Dornic (°D) que corresponde a 1 mL de solução de NaOH 0,1N consumido na titulação, equivalendo a 0,0090g de ácido lático (Brasil, 2006).

2.2.2. GORDURA

Determinada empregando-se o método volumétrico de Gerber, que consiste na separação da gordura através da centrifugação após a digestão do material protéico com o ácido sulfúrico e álcool isoamílico. O método se baseia na leitura direta da porcentagem de gordura na escala do butirômetro de Gerber (Brasil, 2006).

2.2.3. pH

Determinado com um pHmetro digital (Brasil, 2006).

2.2.4. PROTEÍNAS

Determinadas utilizando-se o método de Bradford (1976).

2.2.5. SAIS MINERAIS (CINZAS)

Quantificados por gravimetria após incineração em forno de mufla a 550°C. O método se fundamenta na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado a 525°C, com destruição da matéria orgânica, sem decomposição apreciável dos constituintes do resíduo mineral ou por perda de volatilização (Brasil, 2006).

2.2.6. LACTOSE

Determinada através do método volumétrico com licor de Fehling. Determina-se o teor de lactose no soro através da redução do ácido cúbrico a ácido cuproso (Brasil, 2006).

2.2.7. EXTRATO SECO TOTAL (E.S.T.)

Determinado pelo método padrão de estufa, 105°C, durante 24 horas (Brasil, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SORO DE QUEIJO DE COAGULAÇÃO ENZIMÁTICA

A constituição de matérias-primas depende do material de origem, da manipulação e do tratamento entre outros fatores. Para o soro de queijo, em especial, vai depender do clima, da manipulação e do processo para fabricação do queijo ou extração da caseína. Para a utilização do soro de queijo "Tipo Coalho" sua caracterização foi realizada com a finalidade de conhecer os componentes presentes no mesmo visando utilizá-lo como substrato para a fermentação alcoólica. As médias dos resultados das análises físico-químicas efetuadas no soro resultante do queijo "Tipo Coalho", proveniente de uma indústria de laticínio localizada na zona rural da cidade de Caturité, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Média dos resultados das análises físico-químicas do soro de queijo "Tipo Coalho" de uma industrial de laticínio localizado no Cariri paraibano

Componentes	Média dos resultados
pH	6,34 ± 0,54
Acidez (°D)	11,00 ± 1,16
Gordura (%)	0,33 ± 0,06
Lactose (%)	4,25 ± 0,05
Extrato seco total (%)	6,43 ± 0,08
Sais minerais (%)	0,60 ± 0,01
Proteína (%)	1,25 ± 0,06
Extrato seco desengordurado (%)	6,10 ± 0,11
Umidade (%)	93,57 ± 0,08

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Observando-se os resultados da Tabela 1, verifica-se que os teores encontrados para pH (6,34), sais minerais (0,60%) e lactose (4,25%), analisando-se os valores de extrato seco total (6,43%), gordura (0,33%) e proteína (1,25%), evidencia-se que o método de produção do queijo "Tipo Coalho" com obtenção do subproduto soro de queijo, é mais

eficiente em queijeiras industriais visto que há uma padronização em seu processo diminuindo, assim, a perda de rendimento.

A acidez (11°D) encontrada no soro *in natura* está próxima à da média dos valores observados por Santos., (2024) quando caracterizaram o soro de queijo de coagulação enzimática, de produção artesanal (11°D) do Seridó em Macaíba-RN, assim como os valores de pH entre 6,10 – 6,40; logo, verifica-se que o valor de 6,34 está dentro dessa faixa indicando a possibilidade do uso deste soro como ingrediente para várias formulações, inclusive aplicação em processos fermentativos.

O teor de proteína (1,25%) observado no soro de queijo "Tipo Coalho", representa aproximadamente 35% das proteínas totais do leite que, muitas vezes, é desperdiçada. Considerando-se a média da lactose encontrada no leite (4,6%) nota-se uma diferença de 0,35% do valor da mesma encontrada no soro (4,25%); segundo Florêncio et al. (2007) pode ser resultante da retenção da lactose na caseína do queijo e da hidrólise dos microrganismos lácticos. Estudos desenvolvidos por Bitencourt *et al.,* (2023) com o soro de leite proveniente da produção de queijo "tipo coalho" do laticínio no município de Candói-PR cujo percentual 4,11% de proteína está acima do valor encontrado no estudo. Esse resultado reforça o elevado valor nutricional do soro, evidenciando seu potencial para o aproveitamento na indústria de alimentos.

Ainda de acordo com a Tabela 1, o teor de gordura (0,33%) e estrato seco total (6,43%) está na média dos queijos de coagulação enzimática, assim como muçarela, queijo minas frescal que segundo Durães (2017) obteve o valor 0,33% para teor de gordura para ambos, e extrato seco total 7,04% e 6,68% respectivamente. Sendo valores médios obtidos normalmente na produção de queijo de coagulação similar produzido com técnicas apropriadas.

4. CONCLUSÕES

De acordo com a média do valor de pH encontrado no soro de queijo (6,34), ele é considerado tipo doce, possível de ser facilmente reaproveitado para várias formulações.

O soro ainda é rico em proteínas e contém, em média, 35% das proteínas encontradas no leite, lactose de 4,25%, extrato seco total de 6,43% e sais minerais de 0,60%, significando tratar-se de um meio rico em nutrientes e com acidez média de 11 °D, sendo um valor de acidez baixo podendo ser facilmente utilizado na fermentação alcoólica.

REFERÊNCIAS

[1] ANDRADE, L. M. **Captura direta de proteínas de soro de leite por líquido iônico funcional imobilizado: desenvolvimento e uso do adsorvente magnético Fe3O4-IL-Ni2+.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais - Montes Claros 2022.

[2] BEHMER. M. L. A. Tecnologia do leite. 15 ed., São Paulo. Ed. Nobel. 320p. 1991.

[3] BITENCOURT, Thiago Bergler et al. Uso de Yarrowia lipolytica, para produção de biomassa, utilizando soro de leite como fonte de carbono. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 2, p. 7905-7930, 2023.

[4] BRASIL, Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa da Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Animal – LANARA. **Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e ingredientes: métodos físico-químicos.** 2006.

[5] BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgan quantities of

protein utilizing the principle of protein – Dye Binding. **Analytical Biochemistry,** v.72, p.248-254. 1976.

[6] CAVALCANTE, José Fernando Mourão. **Queijo coalho artesanal do Nordeste do Brasil**. 2017.

[7] DA SILVA, Maiara Magna Almeida; DAMACENO, Marlene Nunes. Produção e comércio local de queijo de coalho em morada nova–ceará. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. e021033-e021033, 2021.

[8] DE OLIVEIRA, C. C et al. Valorização e aplicação dos subprodutos do leite–soro do leite e leitelho: a review. **Ciências Rurais no Século XXI Volume 3**, p. 35. 2024.

[9] DURÃES, L.C. L. **Qualidade microbiológica, físico-química e perfil eletroforético de amostras de soro de queijo produzidos no norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros – MG, 2017.

[10] FLORÊNCIO, I. M et al. Caracterização do soro de queijo "Tipo Coalho" proveniente de queijeiras artesanais da zona rural da cidade de Montadas PB. In: **I Congresso Norte-Nordeste de Química**. Anais. Natal, RN. 2007.

[11] FLORÊNCIO, I. M et al. Remoção das proteínas do lactosoro utilizando o método ácido térmico. In: **II Congresso Norte-Nordeste de Química.** Anais. João Pessoa, PB. 2008a.

[12] FLORENTINO, E. R. **Aproveitamento do soro de queijo de coagulação enzimática**. Natal. 2006. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – UFRN.

[13] MENDES, Franciele Scatola; DE SOUZA, Claucia Fernanda Volken. Qualidade microbiológica de soro de queijo e soro de ricota de laticínios do vale do Taquari, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 11, n. 2, 2017.

[14] MOREIRA, Ricardo Wagner Mori et al. Avaliação sensorial e reológica de uma bebida achocolatada elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e soro de queijo. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 4, p. 435-438, 2010.

[15] SARAIVA, Claudety Barbosa; PINTO, Clarice Coimbra. Do descarte ao valor: estratégias inovadoras de reutilização do soro de leite. **REVISTA FOCO**, v. 17, n. 1, p. e4292-e4292, 2024.

Capítulo 6

Fundamentos da cor em carnes: pigmento mioglobina & análise instrumental da cor

Lethícia Olimpio Bueno
Eduardo Mendes Ramos

Resumo: A cor é o principal atributo sensorial que influencia a decisão de compra de carne pelo consumidor, e a descoloração representa uma causa substancial de perdas econômicas para a indústria. Este capítulo aborda os fundamentos da cor da carne, partindo da física da luz e da percepção visual humana, cuja natureza subjetiva exige o uso de métodos de medição objetivos. O foco bioquímico central é a mioglobina, a proteína responsável pela cor, e suas três formas químicas interconversíveis: a deoximioglobina (vermelho-púrpura), a oximioglobina (vermelho-cereja brilhante, associada ao frescor) e a metamioglobina (acastanhada, sinal de deterioração). São discutidas as dinâmicas de interconversão, como a oxigenação (*blooming*) que torna a cor da carne mais atrativa, a oxidação que leva à sua descoloração e os sistemas de defesa enzimático que combate o acastanhamento. Para a quantificação da cor, são detalhados os sistemas CIELAB e CIELCH, explicando como os índices luminosidade (L^*), índice de vermelho (a^*), saturação (C^*) e ângulo de tonalidade (h) são utilizados para descrever numericamente a cor, incluindo a perda de intensidade e a mudança de tonalidade. O texto compara as tecnologias de avaliação, contrastando a colorimetria tradicional, de análise pontual, com a visão computacional, que promove uma análise holística e superficial.

Palavras-chave: Análise de cor instrumental, colorímetro, mioglobina, cor da carne, CIELAB, CIELCh, oxidação, *blooming.*

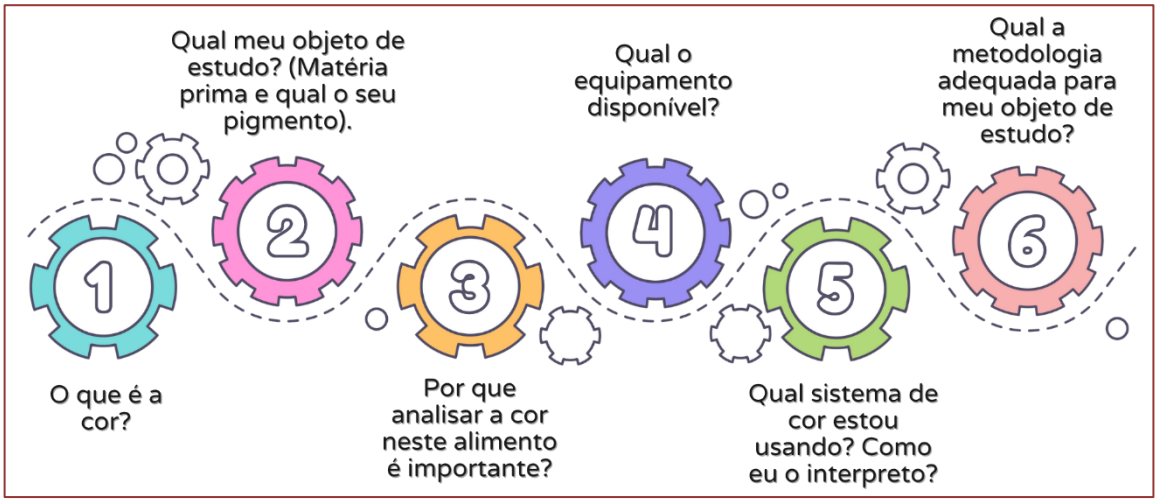
1. INTRODUÇÃO: A IMPORTÂNCIA DA COR NA QUALIDADE DA CARNE

A cor é, indiscutivelmente, o atributo sensorial mais influente na decisão de compra de carne pelo consumidor no ponto de venda (Bueno *et al*, 2024a). Antes que qualquer outra característica, como aroma, textura ou sabor, possa ser avaliada, a aparência visual do produto serve como um indicador primário e instantâneo de sua qualidade e frescor (Mancini & Hunt, 2005; Hernández Salueña *et al*., 2019; Pathare *et al*., 2012). Os consumidores associam uma cor vermelho-cereja brilhante à carne fresca e saudável, enquanto descolorações, especialmente o aparecimento de tons acastanhados, são interpretadas como um sinal de deterioração, perda de qualidade ou armazenamento prolongado (Cardoso *et al.*, 2016; Mancini; Hunt, 2005).

Essa percepção do consumidor tem implicações econômicas diretas e substanciais para a indústria da carne. Estima-se que aproximadamente 2,6% da carne bovina no varejo seja descartada valor devido à descoloração da superfície, resultando em perdas de receita que chegam a cerca de 3,73 bilhões de dólares anualmente apenas nos Estados Unidos (Ramanathan *et al*., 2022). A incapacidade de manter uma cor atrativa durante a vida útil limita a eficiência da distribuição, aumenta o desperdício de alimentos e impacta negativamente a rentabilidade.

A conexão entre a cor e a intenção de compra não é meramente estética, essa avaliação visual inicial é o principal motor por trás dos extensos esforços científicos e industriais para compreender, medir e controlar a cor da carne. Para além do ponto de compra, a cor serve como um indicador crucial do estado de conservação e maturação do alimento, fornecendo informações vitais para o desenvolvimento de estratégias de venda, a padronização de análises laboratoriais e a garantia da qualidade do produto ao longo de toda a cadeia de abastecimento. Portanto, um entendimento aprofundado dos fatores bioquímicos que governam a cor da carne e das tecnologias disponíveis para sua medição objetiva é fundamental para a ciência e a indústria de carnes. A análise da cor, desde a sua concepção até a aplicação prática, segue um roteiro lógico de questionamentos que estruturam a metodologia científica. O infográfico a seguir (Figura 1) resume as etapas essenciais deste processo, que servirão como um guia para os tópicos abordados ao longo deste capítulo.

Figura 1 – Etapas lógicas para a análise instrumental da cor em alimentos



Fonte: Autores (2025).

2. A NATUREZA DA COR: FÍSICA, FISIOLOGIA E PERCEPÇÃO

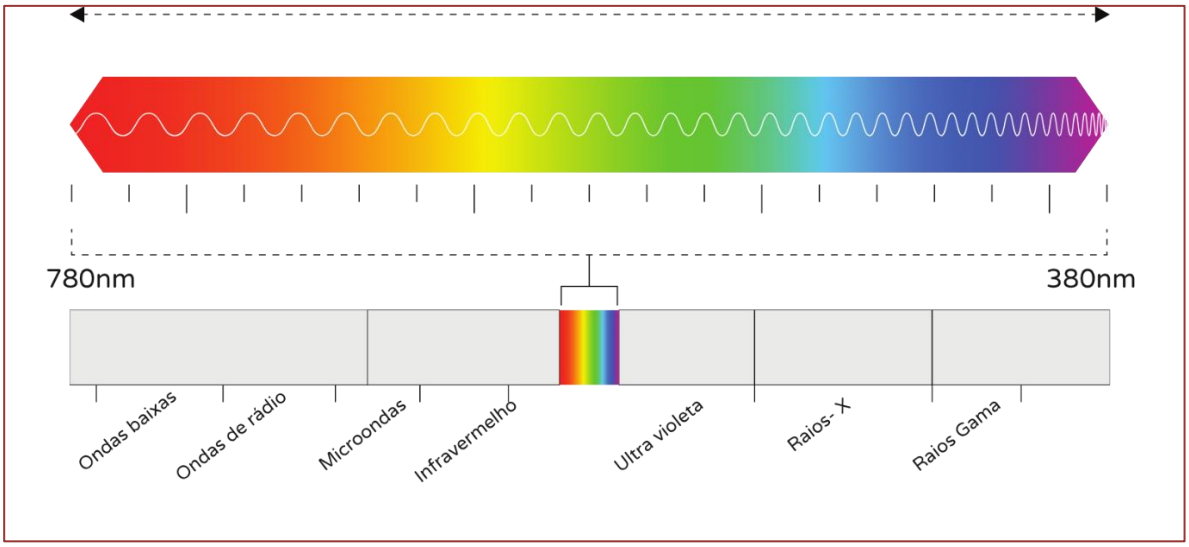
Para compreender a medição da cor em um contexto científico, é essencial primeiro compreender o próprio conceito de cor, que se situa na intersecção da física, da fisiologia e da psicologia. O que percebemos como "cor" é o resultado de uma complexa cadeia de eventos que começa com uma fonte de luz e termina com uma interpretação em nosso cérebro. A natureza subjetiva dessa interpretação final é o que impulsiona a necessidade de sistemas de medição objetivos.

2.1. A LUZ E O ESPECTRO VISÍVEL: A DEFINIÇÃO FÍSICA DA COR

Do ponto de vista físico, a cor não é uma propriedade intrínseca e permanente de um objeto. Em vez disso, é uma impressão produzida no olho pela luz que é refletida ou difundida pela superfície do objeto. O espectro eletromagnético abrange uma vasta gama de frequências de onda, desde ondas de rádio de baixa energia até raios gama de alta energia. A cor, como a conhecemos, corresponde a uma faixa muito estreita desse espectro, conhecida como espectro de luz visível (Figura 2), que se estende aproximadamente de 380 a 780 nanômetros (Ramos; Gomide, 2017).

Quando a luz branca, que contém todos os comprimentos de onda do espectro visível, incide sobre um objeto, como um pedaço de carne, a superfície do objeto absorve seletivamente alguns comprimentos de onda e reflete outros. Os comprimentos de onda que são refletidos chegam aos nossos olhos e são interpretados como a cor do objeto. Por exemplo, a carne fresca parece vermelha porque sua superfície absorve a maior parte dos comprimentos de onda nas regiões do azul e do verde, mas reflete predominantemente os comprimentos de onda na região do vermelho do espectro (King *et al.*, 2023). Como a cor depende da luz refletida, ela é inerentemente dinâmica, mudando com as características da fonte de luz (iluminante) e o ângulo de observação (Ramos; Gomide, 2017).

Figura 2 - Espectro de luz



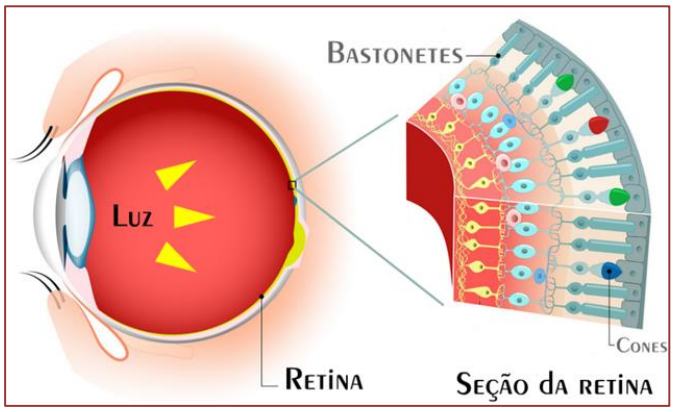
Fonte: Autores (2025).

2.2. O SISTEMA VISUAL HUMANO: COMO ENXERGAMOS AS CORES

A percepção da cor é um processo neurofisiológico complexo. A luz refletida por um objeto entra no olho e atinge a retina, uma camada de tecido na parte de trás do olho que contém células fotorreceptoras. Existem dois tipos principais de fotorreceptores: bastonetes e cones. Os bastonetes são altamente sensíveis à intensidade da luz, permitindo a visão em condições de pouca luminosidade, mas não distinguem cores; eles são responsáveis por percebermos formas, texturas e movimento (Ramos; Gomide, 2017; Delta Color Brasil, 2025).

Os cones, por outro lado, são responsáveis pela visão a cores e estão concentrados em uma pequena depressão no centro da retina chamada fóvea (Figura 3). De acordo com a teoria tricromática de Young-Helmholtz, os seres humanos possuem três tipos de cones, cada um sintonizado para ser mais sensível a diferentes faixas do espectro visível: comprimentos de onda curtos (azul), médios (verde) e longos (vermelho) (Ramos; Gomide, 2017; Delta Color Brasil, 2025). Quando a luz atinge a retina, os três tipos de cones são estimulados em diferentes graus. O cérebro então processa e integra esses sinais distintos para produzir a sensação de uma cor específica. Todas as cores que percebemos são, na verdade, combinações da estimulação desses três tipos de cones (Ramos; Gomide, 2017).

Figura 3 - Representação da visão humana



Fonte: Delta Color Brasil (2025).

A progressão da física objetiva da luz para a interpretação neurológica no cérebro introduz uma inevitável subjetividade. A percepção da cor é única para cada indivíduo e pode ser influenciada por uma variedade de fatores, incluindo idade, genética, experiências individuais, ambiente e até mesmo a iluminação.

Além da variabilidade fisiológica, existe um "problema de linguagem" significativo. Termos descritivos como "vermelho-cereja" ou "marrom-escuro" são imprecisos e dependem de experiências culturais e regionais compartilhadas (Fraser; Banks, 2007; Gianotti, 2019). O conceito de "vermelho-cereja" de um pesquisador pode não ser o mesmo que o de um leitor ou de um colega em outra parte do mundo. Essa ambiguidade é inaceitável para a comunicação científica, o controle de qualidade industrial e o comércio global.

Esta cadeia de subjetividade demonstra porque a avaliação visual, embora importante, é insuficiente para fins científicos e de controle de qualidade. Para superar essas limitações, tornou-se essencial desenvolver modelos matemáticos, conhecidos como sistemas ou espaços de cor, capazes de representar as cores numericamente. Esses sistemas fornecem uma linguagem universal e inequívoca para a cor, permitindo a padronização de metodologias, a comunicação precisa de resultados e a tomada de decisões baseada em dados objetivos.

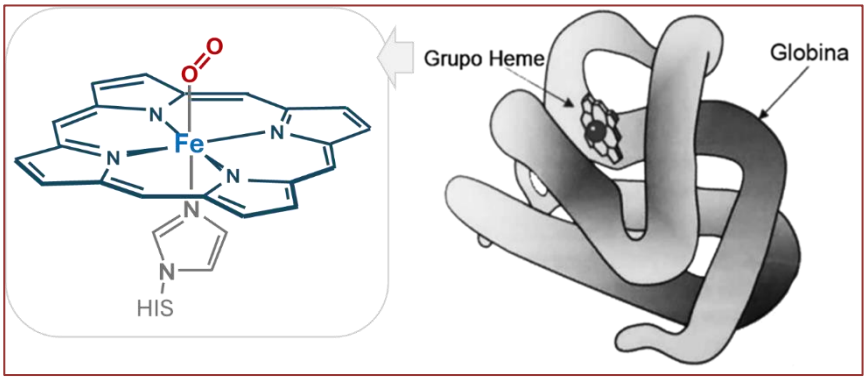
3. A BIOQUÍMICA DA COR DA CARNE: O PIGMENTO MIOGLOBINA E SUA ESTABILIDADE

O cerne da ciência da cor da carne reside na bioquímica de uma única proteína: a mioglobina. A cor vibrante da carne fresca e sua eventual deterioração para um tom acastanhado são manifestações visuais de reações químicas complexas que ocorrem no nível molecular. A estabilidade da cor é, em essência, o resultado de um equilíbrio dinâmico entre processos oxidativos que degradam a cor e sistemas de defesa biológicos que trabalham para preservá-la.

3.1. ESTRUTURA E FUNÇÃO DA MIOGLOBINA

A mioglobina é a principal proteína heme responsável pela cor da carne. Em músculos vivos, sua função fisiológica é armazenar oxigênio, servindo como uma reserva para as células musculares durante períodos de alta demanda metabólica. Estruturalmente, a mioglobina é uma proteína conjugada, composta por duas partes essenciais (Figura 4): uma cadeia polipeptídica de proteína globular chamada “globina” e um grupo prostético não proteico chamado “grupo heme” (Ramos; Gomide, 2017). O grupo heme é o coração cromóforo da molécula. Consiste num anel de protoporfirina IX com um átomo de ferro central. Este átomo de ferro possui seis sítios de coordenação: quatro estão ligados aos átomos de nitrogênio do anel de porfirina, mantendo-o no lugar; um quinto sítio liga o grupo heme à porção de globina da proteína; e o sexto sítio de coordenação fica disponível para ligações (Suman *et al.*, 2013). É o estado de oxidação (redox) do ferro e a natureza do gás ligado a este sexto sítio que ditam a cor que a mioglobina irá exibir (Ramos; Gomide, 2017).

Figura 4 – Estrutura da mioglobina, com destaque para o grupo heme em que uma molécula de oxigênio (O_2) se liga à 6ª valência da molécula de ferro (Fe)



Fonte: Autores (2025).

3.2. AS FORMAS QUÍMICAS DA MIOGLOBINA NA CARNE FRESCA

Na carne fresca, a mioglobina existe predominantemente em três formas químicas interconversíveis, cujas proporções relativas determinam a cor geral da superfície da carne (Mancini; Hunt, 2005; Ramos; Gomide, 2017; Bueno *et al*, 2024a):

- Deoximioglobina (DMb): Esta forma possui o ferro no estado reduzido, ferroso (Fe^{+2}), mas o sexto sítio de coordenação está desocupado. A ausência de um ligando neste sítio resulta numa cor vermelho-púrpura ou arroxeada. A DMb é a forma predominante em condições anaeróbicas, como no interior de um músculo recém-cortado ou em carne embalada a vácuo.
- Oximioglobina (OMb): Quando a carne é exposta ao ar, uma molécula de oxigênio (O_2) liga-se reversivelmente ao sexto sítio de coordenação do ferro ferroso (Fe^{+2}). Esta oxigenação forma a OMb, que exibe a cor vermelho-cereja brilhante que os consumidores associam fortemente à frescura e à qualidade.
- Metamioglobina (MMb): Esta forma representa o estado oxidado do pigmento. O ferro perde um elétron e passa do estado ferroso (Fe^{+2}) para o estado férrico (Fe^{+3}). Nesta configuração, o ferro não pode mais ligar-se ao oxigênio ou a outro gás. A MMb confere à carne uma cor acastanhada indesejável, que é um sinal de descoloração e envelhecimento.

As propriedades distintivas dessas três formas de mioglobina são resumidas no Quadro 1.

Quadro 1: Características das Principais Formas Redox da Mioglobina na Carne Fresca

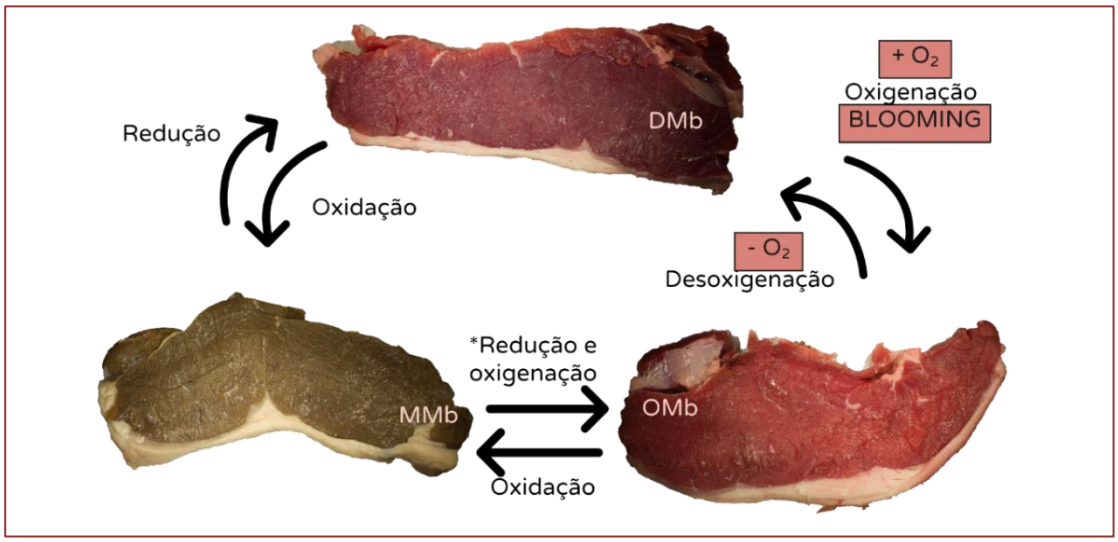
Pigmento	Cor Característica	Estado do Ferro	Ligante na 6ª Coordenação	Condições de Formação Típicas
Deoximioglobina (DMb)	Vermelho-púrpura	Ferroso (Fe^{+2})	Nenhum	Ausência de oxigênio (vácuo, interior do músculo)
Oximioglobina (OMb)	Vermelho-cereja brilhante	Ferroso (Fe^{+2})	Oxigênio (O_2)	Presença de alta pressão de oxigênio (superfície da carne)
Metamioglobina (MMb)	Castanho	Férrico (Fe^{+3})	Nenhum	Oxidação ao longo do tempo, baixa pressão de oxigênio, luz UV.

Fonte: Autores (2025).

3.3. DINÂMICA DAS INTERCONVERSÕES: *BLOOMING* E OXIDAÇÃO

As transições entre as formas da mioglobina são processos dinâmicos (Figura 5). A oxigenação (*blooming*) é a rápida conversão de DMb em OMb quando uma superfície de carne recém-cortada é exposta ao oxigênio atmosférico. Este processo é desejável e essencial para o desenvolvimento da cor vermelha brilhante esperada pelo consumidor (Holman *et al*., 2015; Jacob, 2020; King *et al*., 2023). No entanto, a OMb é inerentemente instável. Em presença contínua de oxigênio, a molécula de OMb pode sofrer autoxidação, um processo no qual o ferro ferroso doa um elétron ao oxigênio ligado, resultando na formação de MMb (Fe^{3+}) e um radical superóxido ($O_2 \cdot -$) (Chaijan, 2008). Esta reação de oxidação é a principal causa da descoloração da carne durante o armazenamento.

Figura 5 – Dinâmica da interconversão dos pigmentos da mioglobina



Fonte: Autores (2025).

A situação é ainda mais complexa devido à interação sinérgica e destrutiva entre a oxidação da mioglobina e a oxidação lipídica. As espécies reativas de oxigênio (ROS), como o radical superóxido e o peróxido de hidrogênio (formado a partir do superóxido), geradas durante a autoxidação da mioglobina, são potentes iniciadores da oxidação dos ácidos graxos insaturados presentes nas membranas celulares do músculo (Chaijan, 2008). Por sua vez, a oxidação lipídica gera uma série de produtos secundários, incluindo aldeídos, que são altamente reativos e podem atacar a porção de globina da mioglobina, desestabilizando a sua estrutura e acelerando ainda mais a sua oxidação para MMb (Suman *et al.*, 2013). Este ciclo vicioso cria uma cascata de deterioração que afeta simultaneamente a cor, o sabor e o valor nutricional da carne.

3.4. O SISTEMA DE DEFESA DA COR: ATIVIDADE REDUTORA DE METAMIOGLOBINA

O músculo *post-mortem* não é um sistema passivo; ele retém uma capacidade biológica intrínseca para combater a descoloração. Este mecanismo de defesa é conhecido como Atividade Redutora de Metamioglobina (MRA) (Bekhit; Faustman, 2005). A MRA é um sistema enzimático que catalisa a redução da MMb (Fe^{3+}) de volta à DMb (Fe^{2+}). Uma vez reduzida, a DMb pode ser re-oxigenada para formar OMb, restaurando assim a cor vermelha brilhante da carne (Tushar *et al.*, 2023). O principal sistema enzimático responsável pela MRA no músculo envolve a enzima NADH-citocromo b5 redutase. Esta enzima utiliza a forma reduzida da nicotinamida adenina dinucleótido, (NADH) como doador de elétrons para reduzir o citocromo b5. O citocromo b5 reduzido então transfere o elétron para a MMb, convertendo-a em DMb (Livingston, *et al.*, 1985).

Assim, a estabilidade da cor de um corte de carne é, em grande parte, determinada pela eficácia do seu sistema de MRA em contrabalançar a taxa de oxidação. Esta eficácia é influenciada por vários fatores:

- pH**:** A atividade da NADH-citocromo b5 redutase é dependente do pH e diminui significativamente à medida que o pH do músculo cai para os seus valores finais

post-mortem (tipicamente 5,5 a 5,7), em comparação com o pH fisiológico (cerca de 7,4) (Poveda-Arteaga *et al.*, 2023).

- Temperatura e Armazenamento: A MRA dissipa-se ao longo do tempo de armazenamento, e a taxa de declínio é influenciada pela temperatura. Temperaturas de refrigeração mais baixas ajudam a preservar a atividade por mais tempo (Bekhit; Faustman, 2005).
- Disponibilidade de NADH: O sistema depende de um reservatório de NADH, que é um recurso finito gerado pela glicólise. À medida que este reservatório se esgota durante o armazenamento, a MRA torna-se menos eficaz (Suman *et al.*, 2013).
- Variação entre Músculos: Diferentes músculos possuem níveis inerentemente distintos de enzimas MRA e de conteúdo de mioglobina. Músculos com alta atividade redutora, como o *longissimus dorsi*, tendem a ser mais estáveis na cor do que músculos com baixa atividade redutora (McKenna *et al.*, 2005).

A cor da carne é, portanto, o resultado de uma competição bioquímica entre a pressão oxidativa (autoxidação, produtos da oxidação lipídica) que promove o acastanhamento e a capacidade redutora (MRA) que promove a cor vermelha. A descoloração ocorre quando a taxa de formação de MMb ultrapassa a capacidade do sistema MRA para a reduzir.

4. PRINCÍPIOS DA ANÁLISE INSTRUMENTAL DA COR

A subjetividade inerente à percepção humana e à linguagem torna a avaliação visual inadequada para a quantificação rigorosa da cor em ambientes científicos e industriais. Para superar isso, a análise instrumental da cor foi desenvolvida para traduzir o fenômeno físico da cor em dados numéricos, objetivos e universalmente compreensíveis. Esta abordagem baseia-se em princípios padronizados e sistemas de coordenadas matemáticas.

4.1. OS TRÊS PILARES DA MEDIÇÃO: ILUMINANTE, OBJETO E OBSERVADOR

Para que um instrumento possa medir a cor de uma forma que se correlacione com a visão humana, ele deve simular os três componentes essenciais da percepção da cor: o observador humano, o objeto e a fonte de luz (Ramos; Gomide, 2017).

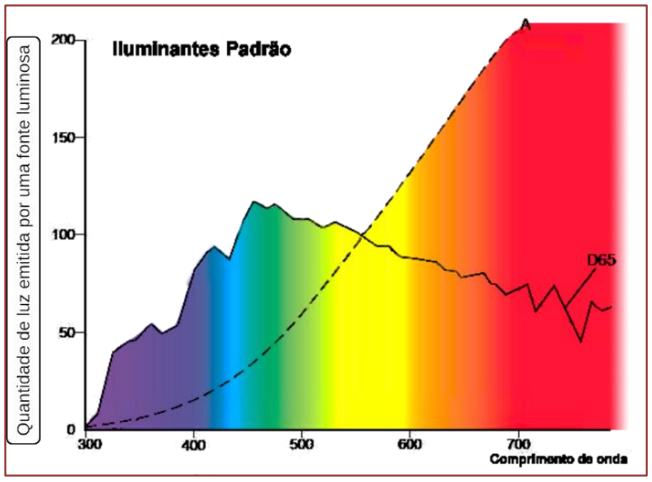
- O Observador: Para padronizar a resposta do olho humano, a CIE definiu um "Observador Padrão", que é um conjunto de dados que representa a sensibilidade média do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. Existem dois observadores padrão principais, definidos pelo campo de visão: 2° e 10°. O observador de 10° é mais moderno e geralmente considerado mais representativo da visão de cores em aplicações práticas, sendo o mais utilizado atualmente (Ramos; Gomide, 2017).
- O Objeto: É a amostra a ser analisada, neste caso, a carne. A sua superfície interage com a luz, absorvendo alguns comprimentos de onda e refletindo outros, o que define a sua cor.
- O Iluminante: Em vez de depender de fontes de luz reais e variáveis (como a luz do sol ou luminárias), a colorimetria utiliza "iluminantes padrão". Um iluminante não é uma fonte de luz física, mas sim uma representação matemática da distribuição

de energia espectral de uma fonte de luz teórica (Figura 6), ou seja, a quantidade de energia emitida em cada comprimento de onda (Ramos; Gomide, 2017).

A *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) padronizou vários iluminantes para representar diferentes condições de iluminação. Os mais comuns para área de carnes são:

- Iluminante A: Simula a luz de uma lâmpada incandescente de tungstênio, com uma temperatura de cor de 2856 K. É rico em energia na faixa do vermelho do espectro pelo que geralmente é sugerido para análise de carnes *in natura*.
- Iluminante D65: Representa a luz do dia média, incluindo a radiação ultravioleta, com uma temperatura de cor de 6504 K. É considerado um iluminante mais equilibrado e branco, sendo comumente utilizado na análise de produtos cárneos.

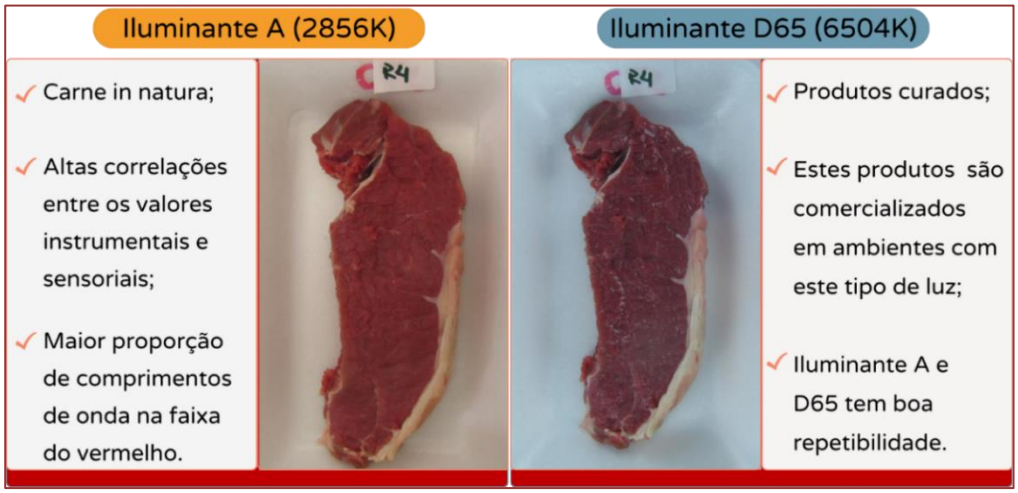
Figura 6 - Distribuição espectral de energia radiante relativa dos iluminantes A e D65



Fonte: Modificado de Konica Minolta (2025).

A escolha do iluminante é crítica, uma vez que interfere diretamente na percepção da cor das carnes (Figura 7). Para a análise de carne fresca (*in natura*), o Iluminante A é frequentemente preferido porque a sua maior proporção de energia vermelha tende a produzir valores instrumentais que se correlacionam melhor com as pontuações sensoriais da cor vermelha da carne. No entanto, o iluminante D65 também pode ser utilizado para carne *in natura*, pois possui boa repetibilidade e devido ao fato da carne *in natura* e seus derivados serem comumente comercializados em expositores com iluminações próximas ao iluminante D65 (Ramos; Gomide, 2017).

Figura 7 – Quadro demonstrativo e explicativo da diferença dos iluminantes na percepção visual da carne *in natura*

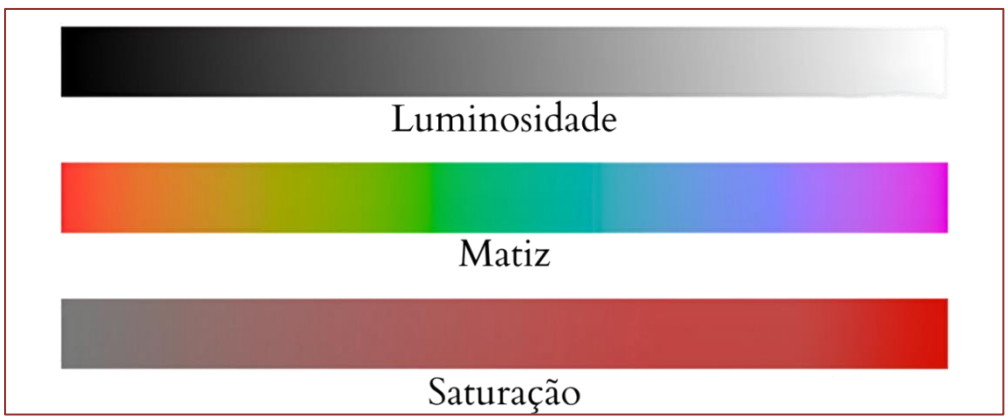


Fonte: Autores (2025).

4.2. SISTEMAS DE CORES PARA A REPRESENTAÇÃO NUMÉRICA

A cor é um sistema tridimensional, possui matiz, luminosidade e saturação (Figura 8). Matiz é a característica que diferencia uma cor da outra; é a cor em si em sua máxima intensidade. O que é conhecido como tom é a gradação cromática do matiz, ou seja, uma variação qualitativa da cor relacionada com o comprimento de onda no espectro do visível (Instituto de Arte Unicamp, 2021). A luminosidade é a quantidade de luz branca que incide sobre a cor, o que define para os humanos o que é uma cor clara ou escura. Já a saturação, é o quanto a cor se afasta da cor neutra, ou seja, o quanto intensa ela é (Delazari, 2019). Por mais simples que possa parecer, a descrição das cores é bastante complexa. Além disso, quando se pretende expressar numericamente a cor, os dados devem ser dispostos num sistema de coordenadas padronizado, conhecido como espaço de cor. No Quadro 2 foi feito um resumo de três sistemas matemáticos de cores bastante utilizados e em seguida, são descritos com mais detalhes em tópicos subsequentes.

Figura 8 – Tridimensionalidade da cor



Fonte: Autores (2025).

Quadro 2 - Comparativo de sistemas de cores para análise de carne

Atributo	Sistema RGB	Sistema CIELAB	Sistema CIELCH
Princípio	Aditivo, dependente do dispositivo. Baseado na emissão de luz.	Perceptual, uniforme e independente do dispositivo. Projetado para mimetizar a visão humana.	Representação polar do CIELAB. Descreve a cor de forma intuitiva (luminosidade, saturação e tonalidade).
Coordenadas	R (*Red*), G (*Green*), B (*Blue*).	$L*$ (luminosidade), $a*$ (eixo verde-vermelho), $b*$ (eixo azul-amarelo).	L∗ (luminosidade), $C*$ (croma/saturação), h (ângulo de tonalidade).
Aplicação na Carne	Captura de imagens digitais (Visão Computacional).	Padrão-ouro para a medição instrumental da cor em pesquisa e indústria.	Análise interpretativa da mudança de cor. h e C∗ são excelentes descritores dos processos oxigenação e oxidação a carne bovina.
Vantagens	Amplamente utilizado em câmeras e monitores.	Correlaciona-se bem com a percepção visual. Permite quantificar diferenças de cor (ΔE∗).	Parâmetros (C∗, h) alinham-se diretamente com os conceitos de saturação e tonalidade, facilitando a interpretação.
Limitações	Não é perceptual. A mesma cor pode ter valores RGB diferentes dependendo do dispositivo e da iluminação.	As coordenadas $a*$ e $b*$ podem não ser tão intuitivas para descrever a mudança de cor de forma isolada.	Menos comum como sistema de medição primário, sendo calculado a partir do sistema CIELAB.

Fonte: Autores (2025).

2.4.1. SISTEMA RGB

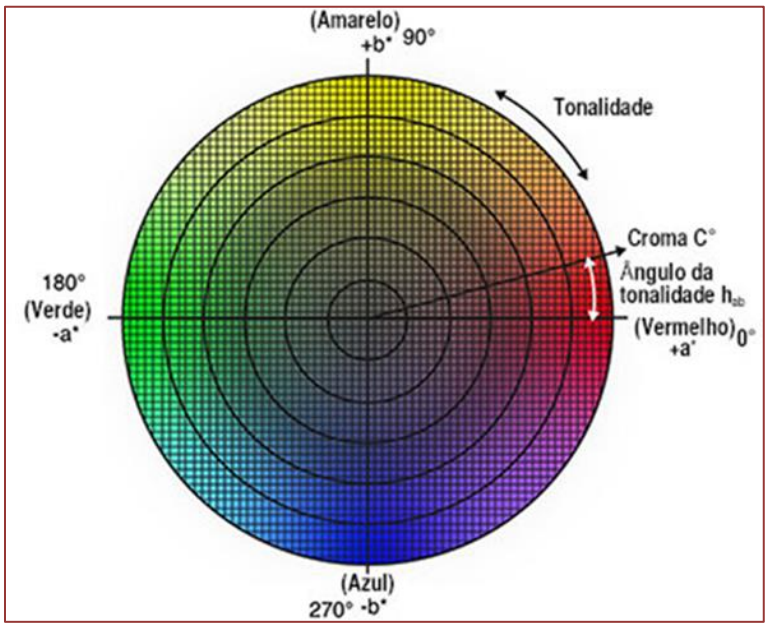
O modelo RGB é um espaço de cores tridimensional no sistema cartesiano, suas coordenadas são dadas por *Red, Green* e *Blue* (Gonzalez; Woods, 2010). O sistema é dependente da luz transmitida e está presente nos equipamentos digitais, como os monitores, telas de celulares e câmera digitais (Silva *et al*, 2022). A cor digital das imagens é representada na forma RGB com três componentes por *pixel* no intervalo de 0 a 255 cada componente. As cores (primárias) emitidas por este sistema aditivo são processadas nos olhos e no cérebro, interpretando os vários comprimentos de ondas. As diferentes quantidades e combinações dessas três cores são o suficiente para formar qualquer outra cor, descrito também na teoria tricromática de Young e Helmholtz (1802). Embora esse sistema represente muito bem o comportamento da cor em raios de luz, seja amplamente aplicado e se aproxime bem de como vê-se as cores, a quantidade de cores que podem ser geradas pelo modelo ainda é longe de atingir a totalidade de cores que podem ser vistas por humanos (Ramos; Gomide, 2017).

Para melhor representação numérica da cor, a CIE padronizou o pico das curvas de sensibilidade dos comprimentos de ondas: azul é 435,8 nm, verde é 546,1 nm e vermelho é 700,0 nm (Gonzalez; Woods, 2010; Hunt, 1991). O sistema RGB não é um sistema absoluto, sendo dependente do tipo de sensor que obteve a imagem, a iluminação, a distância entre o sensor e a amostra, além da necessidade de calibração com um instrumento com padrões de cores (Léon *et al.*, 2006; Larrain *et al.*, 2008; Girolami *et al.*, 2013).

2.4.2. SISTEMAS DA CIE

A CIE definiu três espaços de cor para a comunicação e expressão das cores, sendo o CIE $L^*a^*b^*$ (ou CIELAB) o mais comum na área de alimentos. Este sistema foi criado após a teoria de cores opostas: duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis. A distância euclidiana entre duas diferentes cores, corresponde aproximadamente à diferença de cor percebida pelos olhos humanos. O parâmetro L^* representa a luminosidade, varia de 0 a 100, sendo 0 a ausência total de luz: ou seja, amostras com valores baixos de L* são mais escuras enquanto amostras com valores altos de L* são mais claras. Os componentes cromáticos são os índices de vermelho-verde (a^*) e de azul-amarelo (b^*), e embora sejam tecnicamente ilimitados, são geralmente descritos em um intervalo de +120 a -120. Valores positivos de a^* indicam tons de vermelho, por este motivo, na área de carnes esta coordenada é comumente chamada de "índice de vermelho". Da mesma forma, como as mudanças de cor na carne ocorrem no quadrante 1, ou seja, de vermelho a amarelo, na área a coordenada b^* é denominada "índice de amarelo". Esse sistema tridimensional descreve a cor em um espaço cartesiano (Figura 9).

Figura 9 - Círculo cromático da CIE



Fonte: Konica Minolta (2025).

Embora o sistema CIELAB seja mais habitual, suas coordenadas $a*$ e $b*$ podem não ser tão intuitivas para descrever a percepção humana da cor: luminosidade, saturação e tonalidade (Konica Minolta, 2025). Por isso, uma representação em coordenadas polares do mesmo espaço, conhecida como CIELCH, é frequentemente utilizada para uma análise mais interpretativa (Bueno *et al*., 2024a). Este sistema utiliza a mesma coordenada de luminosidade ($L*$), mas descreve os atributos cromáticos através da saturação ($C*$) e do ângulo de tonalidade (h).

- **Saturação (C^*):** Representa a saturação, vivacidade ou "pureza" da cor. É calculado como a distância do centro do círculo cromático até a coordenada da cor. Valores altos de $C*$ indicam uma cor mais intensa e vívida, enquanto valores próximos de zero correspondem a cores acromáticas (cinzas). Na análise da carne, uma diminuição no valor de C∗ está diretamente associada à perda de vivacidade da cor vermelha durante o armazenamento (Bueno *et al*., 2024a). A fórmula para seu cálculo a partir das coordenadas de cromaticidade é:

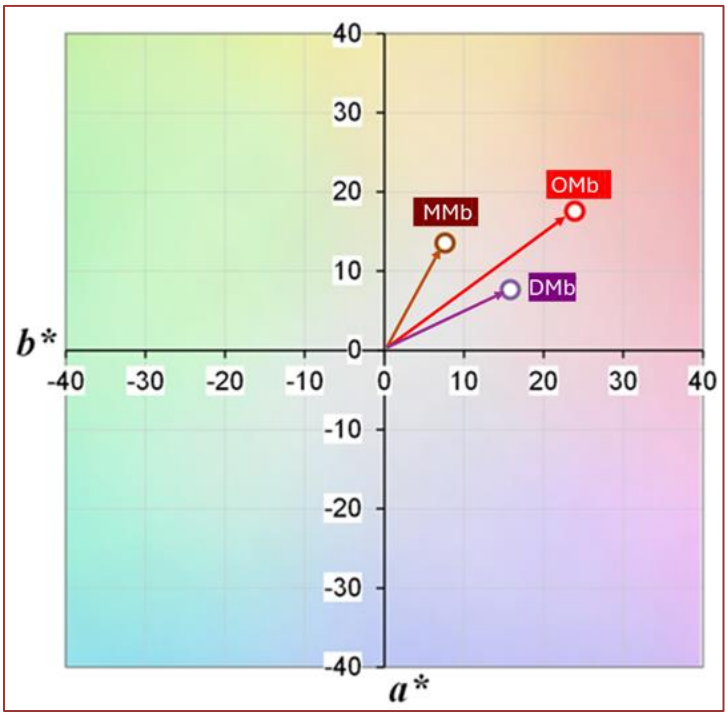
$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

- **Ângulo de tonalidade (h):** Representa a tonalidade em si (vermelho, amarelo, verde etc.). É medido como um ângulo no círculo cromático, iniciando em 0° no eixo +a∗ (vermelho) e progredindo no sentido anti-horário. A fórmula para seu cálculo (expresso em radianos) a partir das coordenadas de cromaticidade é:

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Para a carne fresca, que exibe uma cor vermelho-brilhante, o valor de h situa-se no primeiro quadrante, mais próximo de 0°. À medida que o pigmento de OMb é oxidado a MMb (marrom), o valor de $a*$ diminui e o de $b*$ se altera, podendo aumentar ou diminuir. Essa mudança, no entanto, é facilmente observada pelo aumento do ângulo de tonalidade, que quantifica o desvio da cor do vermelho puro em direção ao amarelo/marrom. Um aumento no valor de h é, portanto, um indicador numérico robusto da descoloração (Bueno *et al*., 2024a). No entanto, é importante observar que o aumento de h também pode indicar uma melhora na cor, como é observado na mudança de DMb, de cor vermelho púrpura, para OMb, de cor vermelho brilhante (Figura 10).

Figura 12 - Diagrama de cromaticidade no sistema CIELAB ilustrando a posição das formas químicas da mioglobina: oximioglobina (OMb), deoximioglobina (DMb) e metamioglobina (MMb)



Fonte: Modificado de Ramos & Gomide (2017).

Apesar dos valores de a^* frequentemente indicarem a cor vermelha da carne, a análise conjunta das coordenadas de cor oferece uma visão muito mais completa da deterioração da cor. Enquanto a simples medição de $a*$ mostra a perda de vermelho, a combinação de h e $C*$ descreve a transição de forma mais precisa: o aumento de h quantifica a mudança de tonalidade para marrom, ou seja, a mudança da matiz da cor, enquanto a diminuição de $C*$ quantifica a perda da intensidade desta cor (Bueno *et al*, 2024a). Portanto, a análise dos parâmetros CIELCH fornece uma perspectiva única e mais completa sobre as cruciais, ainda que sutis, alterações na cor da carne, alinhando a medição instrumental com a percepção sensorial do consumidor. Para uma compreensão completa das mudanças dos índices colorimétricos de acordo com os processos de formação dos pigmentos durante a oxigenação e oxidação durante o armazenamento de carnes, recomenda-se a leitura do artigo "Meat color by numbers: Evaluation of the myoglobin redox forms by different methods and its relationship to CIE color indices" (Bueno *et al*., 2024). O Quadro 3 resume a interpretação destes parâmetros para carnes bovinas.

Quadro 3 - Definição e interpretação das coordenadas de cor dos sistemas CIELAB e CIELCH na análise de carnes

Coordenadas	Descrição	Interpretação na análise de carnes
L*	Luminosidade	Mede quão clara (valores altos) ou escura (valores baixos) é a carne.
a*	Índice de Vermelho	Valores mais altos podem indicar uma cor mais vermelha, associada à OMb. Sua redução, no entanto, está fortemente associada com a descoloração da carne (Bueno et al 2024a).
b*	Índice de Amarelo	Um aumento nos valores de $b*$ está fortemente associado à oxigenação da carne (Bueno et al 2024a). Dependendo das condições o aumento também pode indicar o início da formação de MMb e oxidação lipídica.
C*	Saturação	Mede a vivacidade ou pureza da cor. Uma diminuição no $C*$ indica que a cor está a perdendo intensidade e a tornando-se mais acinzentada. Possui forte relação com a descoloração da carne (Bueno et al 2024a).
h	Ângulo de tonalidade (Matiz)	Mede a tonalidade da cor: indica realmente se a cor da carne ficou "mais vermelha" (menores valores de h) ou "mais amarela" (menores valores de h). Um aumento de h quantifica o desvio da cor do vermelho puro (mais púrpura) em direção ao amarelo/castanho, podendo ser indicativo da formação da MMb. No entanto, os valores de h também estão fortemente correlacionados com a oxigenação da carne (Bueno et al 2024a).

Fonte: Autores (2025).

5. TECNOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DA COR EM CARNES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

A medição instrumental da cor da carne evoluiu de técnicas pontuais para métodos de imagem abrangentes, impulsionados pelos avanços na tecnologia de sensores e no poder computacional. A escolha da tecnologia correta depende de um equilíbrio entre precisão, representatividade e o objetivo final da análise. As duas principais abordagens são a colorimetria tradicional e a visão computacional.

5.1. COLORÍMETROS: APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES

A colorimetria, realizada com um colorímetro ou espectrofotômetro, tem sido o método padrão para a análise de cor na indústria e na investigação de carnes durante décadas. Estes instrumentos funcionam iluminando uma pequena área definida da amostra e medindo a luz refletida através de filtros ou de uma grade de difração para calcular as coordenadas de cor, expressando a cor em sistemas como o CIELAB.

Apesar da sua ampla utilização, a colorimetria tradicional possui limitações significativas quando aplicada a um material biologicamente complexo e não homogéneo como a carne:

- Análise Pontual e Não Representativa: O colorímetro mede uma área muito pequena, tipicamente com um diâmetro de 2 a 8 mm. Numa superfície de carne, que pode ter variações de cor, gordura intramuscular e tecido conjuntivo, uma única medição pontual (ou mesmo a média de algumas) pode não ser representativa da aparência geral do corte (King *et al.*, 2023).
- Penetração da Luz e Discrepância com a Percepção Visual: Esta é talvez a limitação mais crítica. A luz emitida pelo colorímetro pode penetrar profundamente no

tecido da carne, até 20 mm (Girolami *et al*, 2013). Isto significa que o sinal medido pelo instrumento é uma mistura da luz refletida pela OMb (vermelha) na superfície e pela DMb (púrpura) nas camadas mais profundas e anoxias do músculo. O resultado é uma leitura de cor que pode não corresponder ao que o consumidor realmente vê, pois o olho humano percebe apenas a luz refletida pela camada mais superficial.

- Sensibilidade à Estrutura da Superfície: A superfície da carne é rugosa e irregular, o que faz com que a luz se "espalhe" de forma imprevisível. Fatores como a orientação das fibras musculares, o brilho da superfície e a presença de gordura podem afetar as leituras, introduzindo variabilidade que não está diretamente relacionada com a concentração do pigmento (Mancini; Hunt, 2005).

5.2. VISÃO COMPUTACIONAL: UMA ANÁLISE ABRANGENTE E REPRESENTATIVA

A visão computacional (VC) emergiu como uma alternativa complementar à colorimetria tradicional para muitas aplicações (Girolami *et al*., 2013; Wu *et al*., 2013; Tomasévic *et al*., 2019). Um sistema de VC consiste tipicamente numa câmera digital, uma fonte de iluminação controlada e padronizada, e um computador com software para processamento e análise de imagem (Bueno *et al*. 2024b). Em vez de medir um único ponto, a VC captura uma imagem de toda a superfície da amostra. As vantagens da VC são substanciais:

- Análise Holística e Representativa: Ao analisar a distribuição de cor em toda a superfície visível, a VC fornece uma avaliação muito mais representativa e alinhada com a forma como o consumidor avalia visualmente o produto.
- Análise Puramente Superficial: A VC analisa apenas a cor da superfície da carne, tal como o olho humano. Isto elimina o problema da penetração da luz e a interferência da DMb subsuperficial, resultando numa medição que se correlaciona melhor com a percepção sensorial.
- Segmentação de Imagem: Uma das capacidades mais poderosas da VC é a segmentação. Através de algoritmos de processamento de imagem, é possível isolar digitalmente as áreas de interesse — por exemplo, o tecido magro — e excluir a interferência da gordura de cobertura e da gordura intramuscular (marmoreio) da medição da cor. Isto permite uma avaliação mais precisa e pura da cor do pigmento, algo que é impossível com um colorímetro padrão.
- Versatilidade e Riqueza de Dados: Para além da cor, um único sistema de VC pode ser usado para quantificar simultaneamente outros atributos de qualidade importantes, como a percentagem de marmoreio, a área do músculo, a forma, o tamanho e a textura da superfície, fornecendo um perfil de qualidade muito mais completo.

O destaque na avaliação da cor na carne está na intersecção da VC com a inteligência artificial (IA). Os algoritmos de IA podem ser treinados para reconhecer padrões complexos em imagens que escapam à análise humana ou aos algoritmos tradicionais.

- Classificação e Predição: Modelos de IA, podem ser treinados com grandes conjuntos de dados de imagens de carne para realizar tarefas complexas. Por exemplo, podem classificar a carne em categorias como "fresca" ou "deteriorada" com uma precisão altíssima (Elangovan *et al.*, 2024), ou classificar o grau de

marmoreio de carcaças de bovinos com uma velocidade e consistência (Ferreira, 2019).

- Predição de Pigmentos a partir de Imagens: Estudos recentes demonstraram que um sistema de VC, mesmo utilizando uma câmera de smartphone, pode ser combinado com um modelo de IA para prever com precisão as proporções relativas de DMb, OMb e MMb na superfície da carne, apenas a partir de uma imagem digital (Bueno *et al*. 2024b). O modelo de IA aprende a correlação entre os padrões subtis de cor na imagem (os valores RGB dos pixels) e a composição bioquímica subjacente. Isto representa uma mudança de paradigma, passando da medição direta para a predição inteligente, oferecendo uma ferramenta de baixo custo, portátil e poderosa para o controle de qualidade.

5.3. DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO E TENDÊNCIAS FUTURAS

Apesar do seu enorme potencial, a implementação generalizada de sistemas avançados de VC e IA em unidades de processamento de carne enfrenta vários desafios práticos: especialistas para desenvolvimento, custo inicial de hardware e *software*; a necessidade de robustez para operar em ambientes industriais úmidos, frios e exigentes em termos de higiene; a complexidade de lidar com a variabilidade biológica natural das carcaças; e a necessidade de grandes conjuntos de dados de alta qualidade para treinar modelos de IA eficazes (Shehzad *et al*., 2025). O Quadro 4 resume a comparação entre as tecnologias.

Quadro 4 - Análise comparativa: Colorimetria vs. visão computacional

Critério de Avaliação	Colorímetros	Visão Computacional (VC)
Área de análise	Pontual (área pequena, 2-8 mm)	Holística (superfície inteira da amostra)
Profundidade da medição	Profunda (até 20 mm)	Superficial, mede apenas o que é visível
Influência da gordura/textura	Alta, a gordura e a textura na área de medição afetam o resultado	Controlável, pode segmentar e excluir a gordura da análise
Correlação com a percepção humana	Moderada, comprometida pela medição subsuperficial	Alta, mimetiza a forma como o consumidor vê o produto
Implementação	Simples	Complexa

Fonte: Autores (2025).

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A cor da carne é um atributo de qualidade multifacetado, cujo entendimento exige uma abordagem multidisciplinar que abrange desde a física da luz e à complexa bioquímica do músculo *post-mortem.* A sua importância econômica, impulsionada pela percepção do consumidor, justifica os contínuos esforços para desenvolver métodos de avaliação cada vez mais precisos, representativos e eficientes. Este capítulo demonstrou que a cor da carne não é uma propriedade estática, mas sim o resultado visível de um equilíbrio dinâmico entre processos bioquímicos, que permite a formação da indesejável metamioglobina, de tom amarronzado, à sistemas de defesa redutores, como a atividade redutora de metamioglobina (MRA), que atuam para manter a cor vermelha brilhante da oximioglobina. Fatores intrínsecos como o pH do músculo e extrínsecos como a

temperatura de armazenamento e a composição da atmosfera da embalagem influenciam profundamente este equilíbrio, determinando a estabilidade da cor e a vida útil do produto.

A medição desta propriedade complexa tem evoluído de forma notável. A colorimetria tradicional constitui um método padrão, cientificamente validado e amplamente aplicado, que oferece dados confiáveis. Contudo, por sua natureza pontual, ela pode não capturar integralmente a heterogeneidade da superfície, aspecto fundamental na percepção do consumidor. Neste contexto, a visão computacional (VC) emerge como uma tecnologia promissora e complementar, oferecendo uma análise holística que se assemelha à avaliação visual humana, longe de serem excludentes, estas abordagens são sinérgicas. É crucial notar que a VC, como campo em desenvolvimento, frequentemente utiliza a análise colorimétrica como respaldo para a calibração e validação de seus modelos. A sinergia da VC com a inteligência artificial (IA) está a transformar o campo, permitindo não só a medição, mas também a predição de atributos de qualidade complexos a partir de simples imagens digitais.

Esta evolução promete não só otimizar os processos industriais, mas também aumentar a segurança alimentar, reduzir o desperdício e, em última análise, fornecer um produto de maior qualidade e mais fiável ao consumidor. A contínua investigação e desenvolvimento nestas áreas serão cruciais para concretizar o potencial de uma cadeia de abastecimento de carne verdadeiramente inteligente e orientada por dados.

REFERÊNCIAS

[1] AMSA – American Meat Science Association. (2012). *Meat Color Evaluation Guide*. Champaign, IL. https://meatscience.org/publications-resources/printed-publications

[2] BEKHIT, A.e.D.; FAUSTMAN, C.. Metmyoglobin reducing activity. Meat Science, [S.L.], v. 71, n. 3, p. 407-439, nov. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.032.

[3] BROSNAN, Tadhg *et al*. Improving quality inspection of food products by computer vision––a review. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 3-16, jan. 2004. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00183-3.

[4] BUENO, Lethícia O. *et al*. Myoglobin redox form prediction in fresh beef using computer vision systems and artificial intelligence. **Microchemical Journal**, [S.L.], v. 206, p. 111588, nov. 2024b. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2024.111588.

[5] BUENO, Lethícia Olimpio *et al*. Meat color by numbers: evaluation of the myoglobin redox forms by different methods and its relationship to cie color indices. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [S.L.], v. 133, p. 106365, set. 2024a. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106365.

[6] CARDOSO, Giselle Pereira *et al*. Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display. **Meat Science**, [S.L.], v. 114, p. 85-94, abr. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.012.

[7] CHAIJAN, M. Review: Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 47-53, 2008.

[8] DELAZARI, L. S. **Cartografia temática: teoria das cores**. Curitiba: UFPR, 2019. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~luciene/files/2019_GA126_aula6.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.

[9] DELTA COLOR BRASIL. **Espectrofotômetro x Colorímetro**. Disponível em: https://www.deltacolorbrasil.com/espectrofotometroXcolorimetro.html. Acesso em: 07 maio 2025.

[10] ELANGOVAN, Poonguzhali *et al*. A Novel Approach for Meat Quality Assessment Using an Ensemble of Compact Convolutional Neural Networks. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 14, n. 14, p. 5979, 9 jul. 2024. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/app14145979.

[11] FERREIRA, D. D. **Utilização de visão computacional na classificação de carcaças de bovinos nelore macho**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

[12] FRASER, Tom; BANKS, Adam. **Guia completo da cor.** Segunda edição. São Paulo: Senac São Paulo, 2007

[13] GIANOTTI, Marco Garaude. **Cor e linguagem**. 2019. Disponível em: https://sites.usp.br/marcogiannotti/cor-e-linguagem/#_ftn2. Acesso em: 16 jun. 2025.

[14] GIROLAMI, Antonio *et al*. Measurement of meat color using a computer vision system. **Meat Science**, [S.L.], v. 93, n. 1, p. 111-118, jan. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.010.

[15] GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 624 p.

[16] HERNÁNDEZ SALUEÑA, Begoña Hernández *et al*. CIELAB color paths during meat shelf life. Meat Science, [S.L.], v. 157, p. 107889, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889.

[17] HOLMAN, Benjamin W.B. *et al.* Lamb meat colour values (HunterLab CIE and reflectance) are influenced by aperture size (5mm v. 25mm). **Meat Science**, [S.L.], v. 100, p. 202-208, fev. 2015. Elsevier BV http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.006

[18] HUNT, R. G. Colour displays and colorimetry. In: TOWNSEND, K. G.; JACKSON, G. B. **TV and video engineer's reference book**. Oxford: Butterworth-heinemann, 1991. cap. 9, p.1-12

[19] INSTITUTO DE ARTE UNICAMP. **Luz e Cor**. Campinas: UNICAMP, 2021. Disponível em: https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Cor/luz_e_cor_.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

[20] JACOB, Robin. Implications of the variation in bloom properties of red meat: a review. **Meat Science**, [S.L.], v. 162, p. 108040, abr. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108040.

[21] KING, D. Andy *et al*. American Meat Science Association Guidelines for Meat Color Measurement. **Meat And Muscle Biology**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 1-81, 2 fev. 2023. Iowa State University. http://dx.doi.org/10.22175/mmb.12473.

[22] KONICA MINOLTA. **Comunicação precisa da cor: controle de qualidade da percepção à instrumentação**. Japão: Konica Minolta, 1998.

[23] LARRAÍN, R.e. *et al*. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. **Food Research International**, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 380-385, 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2008.01.002.

[24] LEÓN, Katherine *et al*. Color measurement in L∗a∗b∗ units from RGB digital images. **Food Research International**, [S.L.], v. 39, n. 10, p. 1084-1091, dez. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006.

[25] LIVINGSTON, D. J. *et al*. Myoglobin: cytochrome b5 interactions and the kinetic mechanism of metmyoglobin reductase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 260, n. 29, p. 15699-15707, 15 dez. 1985. Disponível: https://www.jbc.org/article/S0021-9258(17)36315-9/pdf

[26] MANCINI, R.A. *et al*. Current research in meat color. **Meat Science**, [S.L.], v. 71, n. 1, p. 100-121, set. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003.

[27] MCKENNA, D.R. *et al*. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. **Meat Science**, [S.L.], v. 70, n. 4, p. 665-682, ago. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.02.016.

[28] PATHARE, Pankaj B.; OPARA, Umezuruike Linus; AL-SAID, Fahad Al-Julanda. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: a review. **Food And Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 36-60, 11 maio 2012. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9.

[29] POVEDA-ARTEAGA, Alejandro *et al*. Intrinsic and Extrinsic Factors Affecting the Color of Fresh Beef Meat—Comprehensive Review. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 4382, 30 mar. 2023. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/app13074382.

[30] RAMANATHAN, Ranjith *et al*. Economic Loss, Amount of Beef Discarded, Natural Resources Wastage, and Environmental Impact Due to Beef Discoloration. **Meat And Muscle Biology**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-8, 12 abr. 2022. Iowa State University. http://dx.doi.org/10.22175/mmb.13218.

[31] RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamento e metodologias**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.

[32] SHEHZAD, Khuram; ALI, Umair; MUNIR, Akhtar. Computer Vision for Food Quality Assessment: advances and challenges. **Global Journal Of Machine Learning And Computing**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 76-92, 19 fev. 2025. Global Alliance for Scientific Studies. http://dx.doi.org/10.70445/gjmlc.1.1.2025.76-92.

[33] SILVA, Hugo Guilherme Pereira da; PEREIRA, Carla Patrícia de Araújo. Cores digitais no ensino superior de design gráfico. **Design e Tecnologia**, [S.L.], v. 12, n. 25, p. 98-110, 30 dez. 2022. PGDesign / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. http://dx.doi.org/10.23972/det2022iss25pp98-110.

[34] SUMAN, Surendranath P. *et al*. Myoglobin Chemistry and Meat Color. **Annual Review Of Food Science And Technology**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 79-99, 28 fev. 2013. Annual Reviews. http://dx.doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182623

[35] TOMASEVIC, Igor *et al.* Evaluation of poultry meat colour using computer vision system and colourimeter. **British Food Journal**, [S.L.], v. 121, n. 5, p. 1078-1087, 3 jun. 2019. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/bfj-06-2018-0376.

[36] TUSHAR, Zh *et al*. Metmyoglobin reducing activity and meat color: a review. **Meat Research**, [S.L.], v. 3, n. 5, p. 1-8, 31 out. 2023. Bangladesh Meat Science Association. http://dx.doi.org/10.55002/mr.3.5.67.

[37] WU, Di *et al.* Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 5-20, jan. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004.

Capítulo 7

Maturação dry-aged e wet-aged e método PEF para processamento e conservação de carnes: uma breve revisão

Cláudio Wellinton Rosendo Viana
Jailson Ribeiro Alves
Hênio Vítor Sobral Melo
Danielly Barbosa dos Santos
Pablicia Oliveira Galdino
Sonally de Oliveira Lima

Resumo: O desperdício de alimentos representa um desafio global com implicações ambientais, econômicas e sociais. Entre os alimentos mais afetados, as carnes ocupam um papel de destaque devido à sua alta perecibilidade e susceptibilidade ao crescimento microbiano. A contaminação e proliferação de bactérias e fungos influencia diretamente a qualidade da carne, deteriorantes são fatores críticos na redução da vida útil dos produtos cárneos, levando ao descarte prematuro e ao consequente desperdício de recursos. Diante desse desafio é essencial estratégias eficazes para minimizar perdas e aprimorar o aproveitamento desses alimentos. Este trabalho investiga estratégias para reduzir essas perdas e melhorar o aproveitamento das carnes por meio do envelhecimento seco (*dry-aged*) e por via úmida (*wet-aged*), analisando o crescimento microbiano em ambas as técnicas. Além disso, explora a aplicação de pulsos de campos elétricos (PEF), como pré-tratamento eficaz no amaciamento de diversos tipos de carne, aprimorando sua qualidade. Os processos de envelhecimento apresentam benefícios sensoriais, e sua associação ao PEF pode potencializar o valor nutricional e prolongar a vida de prateleira dos produtos cárneos, contribuindo para um consumo mais consciente e evitando o desperdício.

Palavras-chave: Envelhecimento úmido, alimentos cárneos e métodos de conservação.

1. INTRODUÇÃO

A produção de carne bovina e de frango enfrenta desafios relacionados à qualidade sensorial e ao desperdício (Ribeiro *et al.,* 2023). Em 2019, as perdas foram significativas, atingindo 20% para carne bovina e 15% para carne de frango, evidenciando a necessidade de aprimoramento nas práticas de abate e conservação (Mesquita, 2019). Além disso, fatores ambientais como temperatura e umidade impactam diretamente características como sabor e maciez, tornando fundamental a adoção de estratégias que preservem essas propriedades ao longo da vida útil dos alimentos (Maggiolino *et al*., 2024).

Dentre as alternativas para otimizar a qualidade da carne, destacam-se os processos de maturação controlada, como *Dry-Aged* (envelhecimento a seco) e *Wet-Aged* (envelhecimento a úmido), que promovem melhorias sensoriais significativas (Mungure *et al*., 2020). Além da maturação, técnicas inovadoras de conservação vêm ganhando espaço, como a aplicação de campos elétricos, *pulse electric field* (PEF). Esse método demonstra vantagem nas etapas de congelamento e descongelamento, contribuindo para a preservação da textura e qualidade dos alimentos (Lin *et al*., 2024; Amiri *et al*., 2019).

Para validar a eficácia dessas tecnologias, estudos têm enfatizado a importância da análise instrumental da textura e força de cisalhamento, que permite avaliar os impactos da aplicação de campos elétricos na maciez das carnes. A distribuição precisa do campo elétrico nos tecidos animais pode ser analisada por métodos como ressonância magnética, proporcionando melhor entendimento sobre seus efeitos estruturais (Genovese *et al*., 2023).

Nesse contexto, os campos elétricos parecem ter a capacidade de impedir a nucleação do gelo durante o processo de congelamento, agindo diretamente sobre as moléculas de água e impedindo a nucleação do gelo por meio de sua reorientação e vibração, de modo que não se aglutinem. Isso leva à hipótese de que a aplicação de campos elétricos resultaria em uma mudança drástica no efeito de super-resfriamento dos produtos alimentícios, o qual depende diretamente de sua composição, especialmente do teor de umidade e gordura presente nas carnes. Compreender como esses fatores influenciam no processo é essencial para garantir que, após a aplicação do PEF, os efeitos desejados sejam alcançados (Kang *et al*., 2022).

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar os métodos de conservação de carnes através das maturações "*Dry-aged*" e "*Wet-aged"*, e aplicação do PEF (*Pulsed Electric Fields*) como um pré-tratamento para o aprimoramento da qualidade de carne.

2. METODOLOGIA

Este artigo de revisão foi produzido com base em 11 artigos científicos, selecionados através das ferramentas de pesquisa Google Acadêmico, Science Direct, Pubmed e Scopus, publicados no período de 2015 e 2025, tais trabalhos foram escolhidos em relação às suas contribuições para o tema com os métodos de conservação de carnes através das maturações Dry-aged e Wet-aged, e aplicação do método do PEF (Pulsed Electric Fields) como um pré-tratamento para o aprimoramento da qualidade de carne.

Onde, mesmo que diferentes, os assuntos se relacionam ao decorrer do desenvolvimento, depois de ler e selecionar cada artigo foi possível desenvolver o presente estudo, como mostra o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Publicações analisadas para suporte teórico

Autor	Título	Revista
Ahmed, M; *et al.*	Pulsed electric fields for sustainable meat, poultry, and fish processing: Recent advances, prospects, and industry challenges	Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2025
Amiri, A.; *et al.*	Effect of high voltage electrostatic field thawing on the functional and physicochemical properties of myofibrillar proteins	Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2019
Bhat, Z. F.; *et al.*	Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry.	Critical Reviews In Food Science And Nutrition. 2018
Hwang, S. H.; Lee, J. H.; Nam, T. G.; Koo, M & Yong Sun Cho, Y. C.	Changes in physicochemical properties and bacterial communities in aged Korean native cattle beef during cold storage.	Food Science & Nutrition. 2022
Lee, H. J.; *et al.*	Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods.	Asian Journal Of Animal Sciences. 2017
Leisner, J. J.; *et al.*	Carnobacterium: positive and negative effects in the environment and in foods.	Fems Microbiol Reviews. 2024
Matos, L. G.; *et al.*	Comparison of bacterial diversity in wet- and dry-aged beef using traditional microbiology and next generation sequencing	The Microbe. 2024
Mungure, E, T. *et al.*	Understanding the influence of PEF treatment on minerals and lipid oxidation of wet- and dry-aged venison M. Longissimus dorsi muscle.	Innovative Food Science And Emerging Technologies. 2023
Ryu, S.; *et al.*	Diversity and Characteristics of the Meat Microbiological Community on Dry Aged Beef. J.	Food Microbiology And Biotechnology. 2018
Silva, N. M. K.	Desenvolvimento e caracterização microbiológica e físico-química de carne caprina submetida a técnica dry-aged	Universidade Federal Da Paraíba. 2020
Suwandy, V. *et al.*	Effect of Pulsed Electric Field Treatment on the Eating and Keeping Qualities of Cold-Boned Beef Loins: Impact of Initial ph and Fibre Orientation.	Food And Bioprocess Technology. 2015

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme Silva, (2020) e Hwang, (2022) carnes são fontes de proteínas e de outros nutrientes, favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos, sendo assim ambientes de abate ou preparação da carne para distribuição devem possuir condições adequadas de higienização. Somado a isso técnicas de conservação como o envelhecimento à seco e úmido são aprimoradas para o melhor aproveitamento deste tipo de alimento.

Neste contexto estudo realizado por Silva (2020), avalia os impactos da maturação a seco e a segurança do consumo de carnes após 60 dias de armazenamento. As análises microbiológicas apresentadas na tabela 1 mostraram que os níveis de bactérias sulfito-

redutoras, estafilococos e Pseudomonas spp. ficaram abaixo do limite de detecção, sem presença de Salmonella spp. Já os parâmetros físico-químicos indicaram redução da umidade devido à evaporação, concentrando os macronutrientes e alterando a composição da carne, favorecendo assim o método de conservação.

Tabela 1 – Contagem microbiológica em pernis caprinos submetidas a envelhecimento em diferentes tratamento e tempos de armazenamento

Variáveis	Tratamentos	Pernis caprinos Tempos de armazenamento (em dias)					
		0	7	14	30	45	60
Clostrídios sulfito-redutores a 45ºC (log UFC/g)	SA[1]	< 0.7**	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7
	CA[2]	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7
Estafilococos coag. positiva (log UFC/g)	SA	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7
	CA	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7
Coliformes totais (log UFC/g)	SA	6.80(±0.00)^{a*}	5.43(±0.21)^{a}	7.50(±0.00)^{a*}	5.97(±0.42)^{a}	3.33(±2.89)^{a}	3.33(±3.00)^{a}
	CA	1.57(±2.71)^{a}	5.50(±0.57)^{a}	5.30^{a}(±0.00)^{a}	6.55(±0.21)^{a}	6.30(±0.00)^{a}	3.37(±2.92)^{a*}
Bactérias láticas (log UFC/g)	SA	0.00(±0.00)^{a}	1.43(±2.48)^{ab}	5.23(±0.21)^{b}	1.53(±2.66)^{ab}	3.13(±2.73)^{ab}	0.00(±0.00)^{a}
	CA	0.00(±0.00)^{a}	0.00(±0.00)^{a}	2.80(±2.43)^{ab}	2.53(±2.20)^{ab}	5.33(±0.25)^{b}	2.80(±2.43)^{ab}
Bolores e Leveduras (log UFC/g)	SA	5.73(±0.35)^{a}	5.70(±0.61)^{a}	6.33(±0.70)^{a}	5.97(±0.65)^{a}	5.80(±0.50)^{a}	5.37(±0.15)^{a}
	CA	2.67(±2.33)^{b*}	5.80(±0.88)^{ab}	6.63(±0.95)^{a}	6.90(±0.42)^{a*}	5.87(±0.15)^{ab}	5.67(±0.32)^{ab}
Pseudomonas spp. (log UFG/g)	SA	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7
	CA	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7

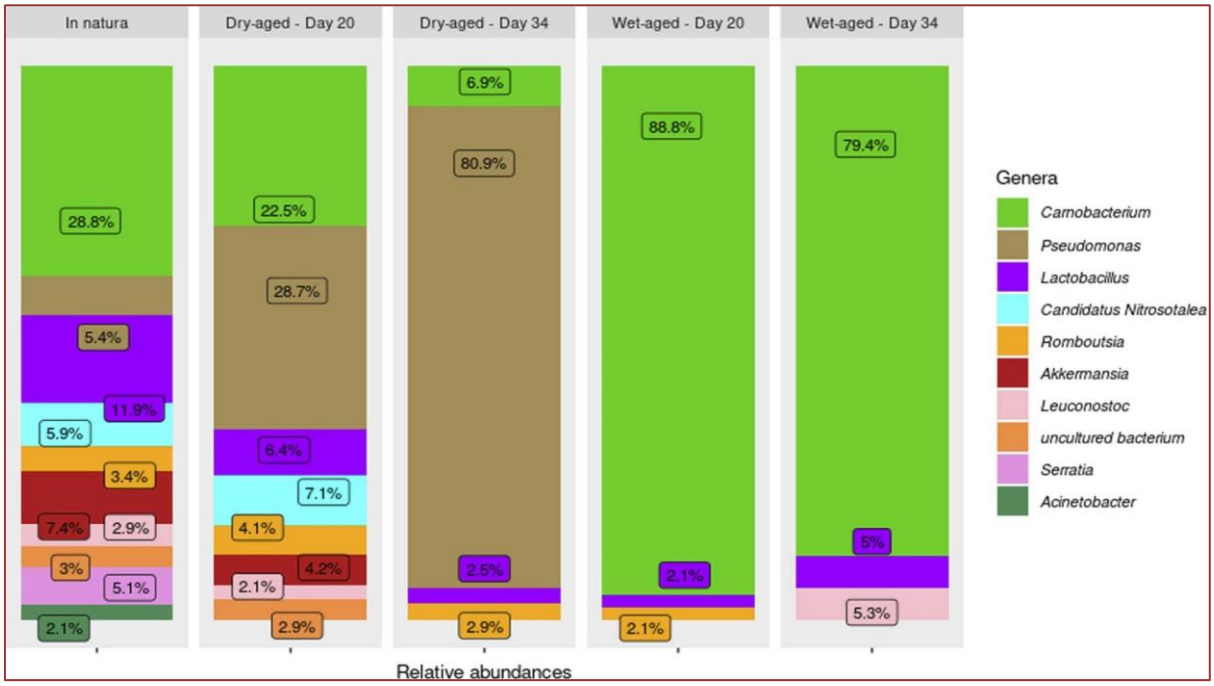
SA[1] (sem ácido acético)
CA[2] (com ácido acético)
Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade no teste de *Tukey*.
*Diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade no teste *t-student* na mesma coluna.
**Equivalente à <5,0 UFC/g

Fonte: Silva, 2020.

A análise do envelhecimento a seco de pernil de vaca não apresentou crescimento das bactérias dos gêneros Coliformes totais, nem fungos dos tipos leveduras e bolores após 28 dias, resultante do processo de formação da crosta que se formou durante a perda de teor de água de 85% (Lee et al,2017).

O processo de envelhecimento da carne contribui para sua preservação e melhora sensorial, promovendo maciez e suculência devido à presença controlada de microrganismos. A Figura 1 indica que a *Carnobacterium* está presente em carnes frescas e maturadas, mas sua atividade diminui após 34 dias no envelhecimento a seco, enquanto no envelhecimento úmido aumenta significativamente após 20 dias. Além disso, a *Pseudomonas* tem sua atividade intensificada no Dry-aged ao longo de 34 dias, enquanto os Lactobacillus tendem a reduzir sua presença nesse método, mas aumentam discretamente no Wet-aged (Matos *et al*., 2024). Leisner,(2007) afirma que bactérias do gênero *carnobacterium* tem a capacidade de se desenvolver em baixas temperaturas podendo assim deteriorar alimentos refrigerados, reafirmando que no envelhecimento por via úmida propicia o desenvolvimento deste tipo de microrganismo.

Figura 1 – Demonstrativo dos percentuais da população microbiana em carnes bovinas nos processos de Dry-aged e Wet-aged e *in natura*



Fonte: Matos *et al.*, 2024.

Segundo Ryu *et al.,* (2018) a maturação a seco de carnes bovinas durante o período de 50 dias apresentou ausência de microrganismos patógenos, mas não impediu o desenvolvimento de fungos filamentosos como *Penicillium camemberti que* é aplicado em indústrias de derivados lácteos, para produção de queijo, possibilitando o sabor atrativo do produto final.

O PEF, o qual é uma nova técnica de processamento de alimentos não térmicos que utiliza pulsos curtos de alta voltagem para induzir, causar modificações irreversíveis na estrutura com potencial para melhorar a maciez da carne. Sendo capaz de aumentar a permeabilidade da membrana da carne (Ahmed *et al.,* 2025).

Mungure *et al.*, (2023), realizou estudo avaliando a aplicação da combinação dos processos de envelhecimento úmido e seco com intensidade baixa e alta de PEF resultando em quatro tipos de combinações destes processos, durante 21 dias, em carne de veado. Desse modo, foi possível observar que o conteúdo mineral não foi afetado pelo PEF, e o tratamento não apresentou efeitos tóxicos ou perigosos a carne, sendo considerada segura para o consumo. Somado a isso, o PEF foi capaz de melhorar a qualidade da carne, contribuindo para a maciez do alimento. Por fim, foi perceptível que todos os tratamentos utilizados se apresentaram dentro dos limites aceitáveis para carne seca. E a aplicação a seco apresentou produtos oxidativos que contribuem para o sabor característico desse tipo de carne.

Estudos demonstraram o potencial nas taxas de secagem da carne mostrou maiores porcentagens de perda de peso durante o processo de envelhecimento. Isso pode ser atribuído ao aumento dos processos de difusão celular devido à eletroporação nas amostras tratadas. Embora o aumento da mobilidade da umidade na carne tratada com PEF possa ser problemático devido às perdas que podem ocorrer durante o

armazenamento, tal fenômeno pode ser vantajoso para produtos à base de carne envelhecida a seco, onde facilitar uma taxa mais rápida de perda de umidade será uma vantagem para a estabilidade do produto e reduzir o tempo de processamento. (Bhat *et al.,* 2019).

De acordo com Suwandy et al., (2015) carnes bovinas tratadas com PEF apresentaram níveis maiores de proteólise mesmo após processo de congelamento, indicando assim que o pré-tratamento com uso desta metodologia ajuda no rompimento das fibras musculares promovendo a maciez e corroborando com o envelhecimento a seco para elevação dos parâmetros sensórias de produtos alimentícios cárneos.

4. CONCLUSÕES

Os métodos de conservação por envelhecimento a seco (dry-aged) e por via úmida (wet-aged), tendem a torna-se mais conhecidos em todo o mundo, a revisão mostrou os benefícios desses métodos, para conservação de carnes de diversos tipos como também para se obter uma melhor qualidade em seus aspectos, como maciez e suculência, mas os diferentes métodos de envelhecimento trazem diferentes tipos de atividades de microrganismos, que devem ser controladas no ambiente em que a carne esteja envelhecendo, tornando a carne segura para consumo tal como a carne in natura.

Além disso a aplicação de PEF (Pulse Electric Field) é bem-vista como um pré-tratamento que auxilia na maciez da carne, melhorando a sua qualidade e conservação. E em relação ao congelamento será benéfico no controle do processo de super-resfriamento para uma melhor padronização do produto final. Essa técnica pode ser aplicada com ou sem o método de conservação atribuindo um melhor aspecto de maciez para carnes de alto padrão.

REFERÊNCIAS

[1] AHMED, Mustafa; RANJAN, Harshita; ROY, Swarup. Pulsed electric fields for sustainable meat, poultry, and fish processing: Recent advances, prospects, and industry challenges. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, p. 104008, 2025.

[2] AMIRI, A. et al. Effect of high voltage electrostatic field thawing on the functional and physicochemical properties of myofibrillar proteins. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 56, p. 102191, ago. 2019.

[3] BHAT, Z. F. et al. Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1660–1674, 2 fev. 2019.

[4] GENOVESE, J. et al. The forgotten method? Pulsed electric field thresholds from the perspective of texture analysis. **Food Research International**, v. 176, p. 113869, 16 dez. 2023.

[5] HWANG, S,H; Lee,J,H , Nam,T,G; Koo,M & Yong Sun Cho,Y,C.Changes in physicochemical properties and bacterial communities in aged Korean native cattle beef during cold storage. **Food science & nutrition**, v.10,p.2590-2600,2022.

[6] KANG, T. et al. Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) on supercooling preservation of beef at different fat levels. **International Journal of Refrigeration**, v. 136, p. 36–45, abr. 2022.

[7] LEE, H. J.; CHOE, J.; KIM, K. T.; OH, J.; LEE, G. D.; KWON, K. M.; CHOI, Y. I. JO, C. Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods. **AsianAustralasian journal of animal sciences**, v. 30, n. 12, p. 1733, 2017.

[8] LEISNER, J. J; Laursen, B.G; Prévost,H; Drider, D; Dalgaard,P.Carnobacterium: positive and

negative effects in the environment and in foods. **FEMS Microbiol Reviews**, v.31,n.5,p.592–613.2007

[9] LIN, H; Wu, G; Hu, X; Chisoro,P; Yang, C; Li, Q; Blecker, C; Li, X. Electric fields as effective strategies for enhancing quality attributes of meat in cold chain logistics: A review. **Food Research International**, v. 193, p. 114839, 2 ago. 2024.

[10] MAGGIOLINO, A; Forte,L; Landi,V; Pateiro,M; Lorenzo,M,J; Palo,P.Enhancement of culled ewes' meat quality: Effects of aging method and time. **Food Chemistry:x.** v.23.2024.

[11] DE MATOS, Luiz Gustavo et al. Comparison of bacterial diversity in wet-and dry-aged beef using traditional microbiology and next generation sequencing. **The Microbe**, v. 2, p. 100035, 2024.

[12] MESQUITA, A.Luxo no lixo: Carne está entre os alimentos mais desperdiçados no Brasil.Território da carne.2019.

[13] MUNGURE,E,T; Farouk,M,M; Carne,A; Staincliffe,M; Stewart,I; Jowett,T; Bhat,Z,F; Bekhit,A,E,A.Understanding the influence of PEF treatment on minerals and lipid oxidation of wet- and dry-aged venison M. longissimus dorsi muscle:.Innovative **Food Science and Emerging Technologie,**.v.83.2023.

[14] RIBEIRO, J,S.INDICADORES DE DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS EM RESTAURANTES COMERCIAIS [Brasil]. **Rosa dos Ventos**, vol. 12, núm. 2, 2020.

[15] RYU, S.; PARK, M. R.; MABURUTSE, B. E.; LEE, W. J.; PARK, D. J.; CHO, S. HWANG, I. OH, S. KIM, Y. Diversity and Characteristics of the Meat Microbiological Community on Dry Aged Beef. **J. Microbiol. Biotechnol**. v. 28, n. 1, p. 105–108, 2018.

[16] SILVA, N,M,K. Desenvolvimento e caracterização microbiológica e físico-química de carne caprina submetida a técnica dry-aged.2020.

[17] SUWANDY, V. et al. Effect of Pulsed Electric Field Treatment on the Eating and Keeping Qualities of Cold-Boned Beef Loins: Impact of Initial pH and Fibre Orientation. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 6, p. 1355–1365, 15 mar. 2015.

Capítulo 8

Estudo de viabilidade do uso de mucilagem de quiabo na elaboração de maionese

Jussara Navarini
Paola dos Santos Fortes
Juliana de Mello Silva

Resumo: O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) caracteriza-se como um fruto que possui elevado teor de vitaminas, fibras, proteínas e óleos presentes em suas sementes. Possui uma substância que pode ser extraída por diversos métodos, conhecida como mucilagem ou "baba". Pode ser consumido de forma in natura ou cozido em diferentes preparações. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo elaborar uma formulação de maionese, com reduzido teor de óleo, a partir da adição de mucilagem de quiabo, bem como, avaliar as suas propriedades físico-químicas. Para realização desse experimento utilizou-se quiabo da variedade *Abelmoschus esculentus* oriundos do comércio de Cruz Alta/RS. Os frutos foram higienizados, cortados em pequenos pedaços e colocados em imersão de água destilada na proporção 1,5:1 (quiabo:água). Após, a mucilagem foi desidratada e submetida a caracterização físico-química. Posteriormente, elaborou-se a maionese com a adição de 10% de mucilagem de quiabo. A maionese foi caracterizada quanto ao pH, acidez titulável, cinzas, proteínas e lipídios. Também, realizou-se análise de estabilidade da emulsão. Como resultado obteve-se a mucilagem com baixo rendimento, devido ao grau de hidratação da mucilagem. Para a maionese foi possível obter a emulsão com 10% de mucilagem, apresentando boa estabilidade e excelentes propriedades físico-químicas.

Palavras-chave: Emulsão, Mucilagem, Extração.

1. INTRODUÇÃO

O quiabo (*Abelmoschus esculentus L.*) é uma hortaliça da família botânica *Malvaceae*, muito cultivada nos trópicos e subtrópicos. Ela é uma planta que necessita de elevadas temperaturas e umidade para o bom desenvolvimento e produção. É originária da África e da Ásia e introduzida no Brasil pelos africanos escravizados. O hábito de consumo dessa hortaliça vem desde o período colonial brasileiro e, atualmente, é mais consumido nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais e São Paulo (Camciuc, 1998).

O consumo dessa hortaliça ocorre, principalmente, na forma *in natura*. No entanto, muitas pessoas não utilizam o quiabo na preparação de pratos, devido a "baba" (goma ou mucilagem) que é liberada no seu cozimento. Essa mucilagem é uma substância polimérica formada geralmente por cadeias monossacarídicas, compostas por monômeros diferentes, denominada de polissacarídeos. Ela é produzida pelo metabolismo das plantas sem a necessidade de feri-las (Koocheki et al., 2009).

É um alimento com componentes nutricionais de fundamental importância como vitaminas, minerais, sólidos solúveis, amido, fibras e hemicelulose. Embora não seja uma fonte rica em carboidratos, o fruto fresco oferece proteínas, vitaminas A, B1 e C, assim como, cálcio e ferro e propriedades antioxidantes e antidiabéticas (Santos, 2018).

Além de suas propriedades nutricionais, a mucilagem obtida do quiabo possui um importante potencial como adjuvante na indústria alimentícia, devido às suas propriedades de viscoelasticidade, emulsificante, de formação de espuma e de boa capacidade de absorção de água e óleo. É fonte potencial de antioxidantes, os quais proporcionam melhora na qualidade dos alimentos em termos de estabilidade, textura e aparência, atuando também como geleificantes ou modificadores de textura (Gemede et al., 2018; Sinha et al., 2015).

A busca por "produtos verdes", que possuem em seus preparos componentes naturais de fontes renováveis, está cada vez mais em ascensão entre a população que busca hábitos mais saudáveis, visto que, o consumo de alimentos com alto teor lipídico pode provocar doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes, hipertensão e sobrepeso, muito comuns na sociedade brasileira. Nesse sentido, torna-se fundamental a redução e/ou substituição de produtos com alto teor de gordura por produtos *low-fat* (pouca gordura). Entre os alimentos tradicionais mais consumidos e que estão diariamente na mesa da população está a maionese, rica em lipídios no qual, seu consumo em excesso pode gerar problemas de saúde.

De acordo com a resolução n° 276/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2005), maionese é o produto cremoso em forma de emulsão estável, óleo em água, preparado a partir de óleo (s) vegetal (is), água e ovos, podendo ser adicionado de outros ingredientes desde que não descaracterizem o produto. Em geral, essa emulsão alimentícia deve ser composta de 60 a 70% de lipídios, sendo o ovo um dos ingredientes principais, pois contém a lecitina que atua como o emulsificante para a estabilidade do produto. Ela é um molho muito requisitado pelos consumidores do mundo inteiro e utilizada na elaboração de receitas (Reis, 2013).

Com o intuito de atender a demanda por produtos com menos calorias ou até mesmo sem gordura, mas que mantenha as características como textura e sabor do produto original, novas versões de alimentos já conhecidos têm sido estudadas, como por exemplo, a substituição ou redução de alguns ingredientes da maionese, tais como, a gema do ovo ou

óleo. Entre essas opções, estão as mucilagens vegetais e farinhas de algumas leguminosas como um substituto da gordura ou de emulsificante, pois apresentam propriedades que favorecem a formação do molho reduzindo de forma drástica o conteúdo lipídico.

Na literatura, o uso da mucilagem de quiabo tem ganhado destaque como agente floculante e coagulante por apresentar eficiência no tratamento de água de abastecimento humano e na elaboração de fermentados (Chagas, De Faria, 2022). No entanto, pesquisas relativas ao uso da mucilagem de quiabo na elaboração de maionese ainda não são descritas, o que faz deste trabalho um marco no desenvolvimento de tecnologia, e que justifica a importância do desenvolvimento desse estudo, uma vez que traz proposta inédita na área da pesquisa em alimentos. A partir disso, o objetivo foi elaborar uma formulação de maionese, com reduzido teor de óleo, a partir da substituição parcial de óleo pela mucilagem de quiabo, bem como avaliar as suas propriedades físico-químicas.

2. METODOLOGIA

2.1. EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DO QUIABO

Para a extração da mucilagem do quiabo, inicialmente, realizou-se a escolha dos frutos levando em consideração características como ausência de danos físicos e colônias fúngicas, com as vagens medindo cerca de 10 cm de comprimento. A higienização consistiu na colocação das vagens em solução de hipoclorito de sódio (1 ppm) por 10 min e, na sequência, lavagem com água corrente e drenagem em temperatura ambiente.

Para a extração da mucilagem adotou-se a metodologia de Rodrigues (2020). Inicialmente, as vagens foram fatiadas em rodelas finas e colocados em recipiente de inox. Na sequência, adicionou-se água na proporção (água e quiabo) de 1,5:1 (v/v), à temperatura de 100°C por 10 minutos para obter a consistência desejada. Após cocção, a mistura foi submetida ao descanso e resfriamento, por aproximadamente 25 minutos à temperatura ambiente e, posteriormente, foi realizada filtragem em tecido de algodão. Por fim, a mucilagem foi levada à secadora com circulação de ar a temperatura de 60ºC por seis horas, obtendo-se assim um sólido em pó, o qual foi armazenado em sacos polietileno e armazenados em dessecador, para posterior uso.

O rendimento da mucilagem foi calculado a partir da diferença entre o somatório dos ingredientes utilizados para a extração e o peso final da mucilagem.

2.2. ELABORAÇÃO DA MAIONESE COM MUCILAGEM DE QUIABO

Para a elaboração da maionese empregou-se a metodologia descrita por Utpott (2012) como formulação base, a qual está descrita na tabela 1. A partir dessa formulação elaborou-se a maionese com substituição parcial de óleo por mucilagem de quiabo.

Tabela 1 – Percentuais dos ingredientes para cada formulação

Ingredientes (%)	FMP*	FMM
Óleo de soja	70,00	50,00
Água destilada	13,00	16,00
Gema de ovo	8,00	16,00
Ácido cítrico	5,50	5,50
Açúcar	2,00	2,00
Sal	1,50	1,50
Mucilagem de quiabo	---	10,00

FMP = maionese padrão; FMM = maionese com adição de mucilagem de quiabo;

*Fonte: Utpott (2012)

Em liquificador, os ingredientes foram adicionados e na sequência submetidos à agitação por quatro minutos, até a obtenção da emulsão. Por fim, transferiu-se a mesma para recipiente de vidro previamente esterilizado e armazenada para posterior análise.

2.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A determinação do potencial hidrogeniônico e da acidez titulável total foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Para a determinação de umidade e cinzas utilizou-se a metodologia descrita Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2012).

2.4. DETERMINAÇÃO DE PROTEÍNAS

Para a determinação de proteínas empregou-se o método Microkjeldahl, com digestão de 0,2g de amostra acrescida de 2,5g de mistura catalítica e 7mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) em bloco digestor a 400°C. Em seguida, a amostra foi destilada, após adição de 10mL de água destilada e NaOH 50% para neutralização, em erlenmeyer contendo 10mL de solução de ácido bórico 2% com 3 gotas de solução de indicador misto e titulada com ácido sulfúrico 0,01M, obtendo-se o teor de nitrogênio da amostra, o qual é utilizado para calcular o teor de proteínas. O cálculo para a porcentagem de proteínas foi realizado seguindo a equação 1:

$$P(\%) = \frac{(V \times M \times F \times 0{,}014 \times 100 \times 6{,}25)}{p} \qquad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

V=volume gasto de ácido na titulação

M= molaridade do ácido

F = fator de correção

p = peso da amostra em gramas

2.5. DETERMINAÇÃO DE LIPÍDIOS

Utilizou-se a metodologia de Bligh & Dyer (1959). Inicialmente, em um erlenmeyer de 125 mL, pesou-se 5 gramas de amostra e adicionou-se 10 mL de clorofórmio, 10 mL de metanol e 8 mL de água e a mistura foi levada a agitação por 30 minutos. Após, adicionou-se mais 10 mL de clorofórmio e 10 mL de solução de sulfato de sódio 1,5% e colocada em agitação por 5 minutos. Na sequência, a solução foi transferida para funil de decantação para a separação da fase orgânica. Posteriormente, adicionou-se 1grama de sulfato de sódio anidro à fase orgânica para remoção de traços de água na fase orgânica. Por fim, a solução foi filtrada e então medido 5 mL desse filtrado e transferido para um béquer e levado à estufa à temperatura de 80°C até evaporação do solvente, obtendo-se a quantidade de gordura por pesagem e calculada pela equação 2:

$$\%lipídios\ totais = \frac{p \times 4 \times 100}{g} \qquad \text{Eq. (2)}$$

g = peso da amostra (g)

p = peso dos lipídios (g) contido em 5 mL

2.6. TESTE DE ESTABILIDADE DAS EMULSÕES

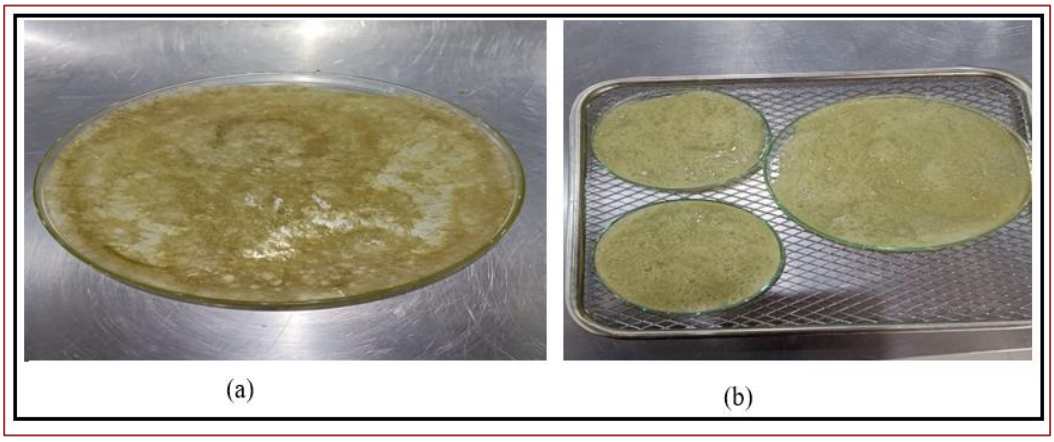
Avaliou-se a estabilidade da maionese de acordo com a metodologia de Mun et al. (2009). A amostra F_0 (15 gramas) foi transferida para tubos de plástico e, em seguida, fechada hermeticamente e armazenada por 48 horas em estufa a 50°C. Após esse tempo, a mesma foi centrifugada por 10 minutos a 3000 rpm. O peso da fração precipitada (F_1) foi medido, assim como a estabilidade das emulsões, calculada pela equação 3:

$$Estabilidade(\%) = \left(\frac{F_1}{F_0}\right) \times 100 \qquad \text{Eq. (3)}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mucilagem teve seu rendimento de 49,67% na sua forma hidratada em relação à massa de quiabo utilizada. Para a forma desidratada foi possível obter 1,75% de rendimento em relação a mucilagem hidratada e 0,87% em relação à massa de quiabo (Figura 1). Araujo et al. (2020) em seu estudo de extração de mucilagem de quiabo pelo processo de liofilização obteve rendimento 1,67%, esse valor é aproximado ao encontrado no presente estudo. Cabe destacar que vegetais, como quiabo, possuem considerável quantidade de água, quando *in natura,* o que justifica o baixo rendimento em mucilagens desidratadas por diferentes processos.

Figura 1 – Mucilagem hidratada (a) e mucilagem desidratada (b)



Fonte: Autoras (2025).

Na tabela 2 estão demonstrados os parâmetros da caracterização da mucilagem.

Tabela 2 – Caracterização da mucilagem desidratada de quiabo

pH	Acidez titulável (%)	Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteína* (%)
6,2	0,63	15	9,81	1,63

*Mucilagem úmida

Fonte: Autoras (2025).

Na determinação do pH da mucilagem obteve-se o valor de 6,2, indicando que a mucilagem extraída tem característica levemente ácida. Esse valor está em concordância com os dados de Silva et al. (2021), que estudaram o efeito de diferentes coberturas para o cultivo de quiabo em sistemas agroecológicos e obtiveram valores de pH para os frutos na faixa de 6,2 e 6,5. Resultados semelhantes foram observados por Araujo et al. (2020), que obtiveram valores de 6,54; 6,13 e 5,74 para quiabo *in natura,* mucilagem úmida e mucilagem liofilizada, respectivamente. Dessa forma, os autores citados relatam que tanto o fruto quanto os seus derivados com pH próximo a neutralidade são aceitos do ponto de vista comercial, pois influencia tanto no sabor, quanto na estabilidade dos produtos.

O teor de umidade encontrado neste trabalho (15%) foi superior ao descrito por Araujo et al. (2020) para mucilagem liofilizada que obteve teor 0,45%. Araujo et al. (2020) analisaram mucilagem úmida encontrando teor de 98,87%, maior do que o encontrado neste trabalho para o quiabo *in natura*. De acordo com os autores, a alta umidade presente é devido à adição de água no processo de extração. Por outro lado, Couto e Trindade (2021), na caracterização de farinhas de quiabo oriundas de cultivo convencional e orgânico, obtiveram valores de umidades aproximados neste estudo, sendo 13,29 e 13,31%, respectivamente.

As cinzas caracterizam-se como o resíduo mineral fixo resultante da incineração da amostra de um determinado alimento ou produto. A mucilagem analisada neste estudo apresentou teor de cinzas de 9,81%. Esse valor é próximo ao da goma xantana, cujo valor é 9,35% (Sciarini et al., 2009). Da mesma forma, Couto e Trindade (2021) ao avaliar o teor de cinzas de farinhas de quiabo obtiveram valor médio de 7,23%, demonstrando grande quantidade de minerais presentes na mesma.

A mucilagem foi analisada quanto ao teor de proteína, sendo encontrado valor de 1,68%. Esse valor é superior ao descrito por Araújo (2020) em estudo de mucilagem de quiabo úmida (0,88%) e inferior para a mucilagem liofilizada (6,77%). Em relação ao valor de proteínas, observou-se que este estudo quando comparado com fruto *in natura,* possuem valores bem próximos.

Após a caracterização da mucilagem realizaram-se as análises da maionese com adição da mesma. Os dados estão demonstrados na tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização de maionese com adição parcial de mucilagem de quiabo

Umidade (%)	Cinzas (%)	Acidez titulável (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	pH	Estabilidade (%)
17,62	0,52	3,06	3,68	30,40	5	59,26

Fonte: Autoras (2025).

A maionese apresentou teor de umidade de 17,62%, valor muito aproximado ao estudo de Lovis (2019), que encontrou teor de umidade de17,59% para o molho tipo maionese à

base de banana verde. Na Tabela Brasileira de Composição Alimentícia (TACO, 2011), o teor estimado para maionese tradicional com ovos é de 58,4%, no entanto, valores desiguais são encontrados por diferentes autores. As diferenças podem ser explicadas devido ao tipo e quantidade de componentes utilizados na elaboração de maioneses. Dessa forma, cada tipo de maionese vai possuir um teor de umidade diferente, o que influencia no produto final. Na resolução n° 276 de 2005 (Brasil, 2005), consta que outros ingredientes podem ser adicionados ao produto, além dos ovos, óleo e vinagre, desde que não descaracterize o mesmo.

A determinação de cinzas é uma análise na qual é obtido a quantidade de material inorgânico na amostra após a queima total da matéria orgânica, ou seja, todos os compostos orgânicos que estão presentes são queimados, restando apenas os minerais inorgânicos, que denominamos de cinzas. Para tanto, o teor de cinzas na maionese elaborada foi de 0,52%, teor menor que o descrito na TACO, na qual consta valor de 2,4% para maionese tradicional. Valores aproximados ao presente estudo foram encontrados por Worrasinchai et al. (2006), sendo 0,78 a 0,84% em maioneses com substituição parcial de óleo por β-glucanas extraídas da parede celular de leveduras de cerveja. Dessa forma, acredita-se que os componentes empregados na amostra influenciam também no teor de cinzas.

Para a acidez titulável e o pH foram encontrados valores de 3,5% e 5, respectivamente, sendo que o valor do pH está acima do recomendado para a conservação microbiológica. Isso se deve, possivelmente, pela ausência de conservantes químicos, tendo somente o ácido acético como agente conservador. Alves (2016) afirma que à medida que o tempo passa, o pH da maionese vai diminuindo devido à ação de bactérias lácticas. Por outro lado, a acidez em maionese é um fator de grande importância, pois produtos emulsionados com acidez maior do que a permitida pela legislação, pode sofrer hidrólise e perder a consistência durante o processamento e diminuir sua vida útil. O valor encontrado para a acidez é aproximado ao valor descrito na legislação brasileira de molhos, no qual aborda limite de 2,3 a 3,0 % de acidez.

Em relação ao teor de lipídeos da amostra, o resultado obtido foi de 30,40%, semelhante ao encontrado por Lovis (2019) em maionese tradicional, no qual o valor para lipídios foi de 33,67%. No entanto, quando comparada a resultados obtidos por Sales (2020), o resultado é inferior, sendo que o mesmo obteve valores de lipídios de 45,44 e 43,45% para maioneses obtidas a partir de óleo de babaçu artesanal e industrial, respectivamente. Fernandes (2016) estudando o uso de mucilagem de chia em concentrações de 15, 25, 35 e 45 % na elaboração de maionese obteve teores de lipídios de 65,18%, 58,97%, 50,96% e 38,36%, respectivamente. Pode-se observar que o teor de lipídios diminui à medida que a concentração de mucilagem aumenta, pois a quantidade de óleo nas formulações diminui.

O teor proteico da maionese com mucilagem de quiabo foi 3,68%. Fernandes (2016) obteve valores de 3,32 a 4,19% de proteína em maioneses com adição de mucilagem de chia nas concentrações de 25 a 45%. Além disso, o autor analisou maionese comercial como comparativo, obtendo baixo teor proteico e que isso se deve ao fato que a maior parte dos ingredientes são óleo e água.

A estabilidade da emulsão é um parâmetro importante, pois está associada à prevenção da coalescência das gotas de óleo, de floculação e formação do creme. Em maionese comercial, o uso de aditivos como amido modificado e estabilizante goma xantana contribui para a firmeza e resistência das emulsões ao calor. O resultado da estabilidade

da maionese elaborada no presente trabalho foi de 59,26%. De acordo com Fernandes (2016), a estabilidade das maioneses elaboradas com mucilagem de chia em diferentes concentrações foi de aproximadamente 99%, próxima à maionese comercial. Dessa forma, acredita-se que a mucilagem de chia auxilia na estabilidade da emulsão. Hermes (2020) ao avaliar a estabilidade da emulsão da farinha de ervilha encontrou o valor de 36%, resultado baixo quando comparado ao encontrado neste trabalho, pois quanto menor o valor menor a estabilidade da emulsão.

4. CONCLUSÃO

De modo geral, pode-se concluir que a extração da mucilagem do quiabo pelo método convencional é viável, porém ainda apresentou baixo rendimento. No entanto, demonstrou boas características físico-químicas, conferindo sua aplicabilidade na elaboração de molhos maionese.

A elaboração de maionese a partir de mucilagem quiabo é viável, observando-se reduzido volume de óleo na sua formulação, quando comparada com a formulação base. Porém, observou-se que são necessários mais estudos microbiológicos, sensoriais e nutricionais, para que o produto seja disponibilizado no mercado consumidor, visto que é um alimento com baixo teor de gordura e que utiliza como matéria prima um produto natural, sem aditivos químicos.

REFERÊNCIAS

[1] ARAÚJO S. F. P. et al. Mucilagem de quiabo Abelmoschus esculentus (L.) Moench como aditivo natural em molho de tomate. **Research Society and Development**, v. 9, n. 5, p.1-17, 2020.

[2] AOAC: Association Of Official Analytical Chemists. Official Methods Of Analysis Of Aoac International. 19th Edition, Washington DC, (2012), 121-130.

[3] BLIGH, E.G.; DYER, W.K. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol.,** v.37, n.8, p. 911- 917, 1959.

[4] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005 (g):** Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos. Brasília, DF, 2005.

[5] CAMCIUC, M; DEPLAGNE, M; VILAREM, G: GASET, A. Okra *Abelmoschus esculentus* L. (Moench.) a crop with economic potential for set aside acreage in France. **Industrial Crops and Products**. v.7, p.257-264, 1998.

[6] CHAGAS, G. H.; DE FARIA, M. L. Utilização do polímero natural do quiabo (abelmoschus esculentos l. Moench) no tratamento de água de abastecimento humano: Use of natural polymer from okra (abelmoschus esculentos l. Moench) in the treatment of human water supply. **Studies in education sciences,** *3*(1), 137–148.2022.

[7] COUTO, A.L; TRINDADE, B. D. Caracterização e comparação das propriedades físico-químicas das farinhas de quiabo oriundas dos cultivos orgânico e convencional. *In:* **IV Simpósio de Engenharia de Alimentos – SIMEALI:** Controle de qualidade: análise sensorial, química de alimentos e análise de alimentos. V.2, p. 137, 2021.

[8] DA SILVA, S. N.; OLIVEIRA, K. C. L.; BARCELOS, A. I. H.; GUEDES, S. F. Produtividade e análises físico-químicas do quiabeiro em diferentes tipos de coberturas em sistema agroecológico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 12, p. 204-212, 2021.

[9] FERNADES, S. S. **Produção e aplicação de mucilagem de chia (Salvia hispanica L.) em produtos alimentícios.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, 2016.

[10] HERMES, R. **Aplicação e aceitabilidade de farinha de ervilha em molho tipo maionese.** Cruz

Alta: Uergs, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Cruz Alta, RS, 2020.

[11] IAL- Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz Métodos químicos e físicos par análise de alimentos**, 3. Ed. São Paulo: Instituo Adolfo Lutz, 1985

[12] LOVIS, K. L.; SCHNEIDER, T. M.; FORALOSSO, F. B.; DA SILVEIRA, S. M.; JUNIOR VARGAS, A.; FRONZA, N. Desenvolvimento de creme de mesa tipo maionese a base de biomassa: comparação com molho de maionese tradicional. Anais da XII Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI) v. 1 n. 12 (2019). Disponível em: https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/micti/issue/view/61.

[13] KOOCHEKI, A.; MORTAZAVI, S.A.; SHAHIDI F.; RAZAVI, S.M.A.; TAHERIAN, A.R. Rheological properties of mucilage extracted from Alyssum homolocarpum seed as a new source of thickening agent. **Journal of food engineering**, v. 91, n. 3, p. 490-496, 2009.

[14] REIS, J. P. M. F. **Desenvolvimento de novas formulações de maionese tradicional, light e fast-free**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal), 2013.

[15] RODRIGUES, V.C.C., RODRIGUES, K.C.C, FIALHO, C.G.O., BASTIANI M.I.D, MILAGRES R.C.R.M., SOUZA, E.C.G. **Composição química e aceitabilidade de pão sem glúten desenvolvido com mucilagem de quiabo.** Rev Inst Adolfo Lutz. São Paulo, 2020;79:e1786.

[16] SALES, A. R. R.; ALBUQUERQUE, T. N.; XAVIER, L. E.; DE SANTANA, A. G.; DA SILVA, O. S.; COSTA, S. S.; DA FONSECA, S. B.; MEIRELES, B. R. L. A. Caracterização físico-química do óleo de coco babaçu industrial e artesanal e suas aplicações tecnológicas. **Braz. J. of Develop.** Curitiba, v. 6, n.5, p.25734-25748, 2020

[17] SANTOS, F. S. **Liofilização e secagem convectiva de quiabo**. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2018.

[18] SCIARINI, L. S.; MALDONADO, F. S.; RIBOTTA, P. D.; PÉREZ, G. T.; LEÓN A. E. Chemical composition and functional properties of Gleditsia triacanthos gum. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 2, p. 306-313, 2009.

[19] SINHA, P.; UBAIDULLA, U.; NAYAK, A.K. Okra (Hibiscus esculentus) gum-alginate blend mucoadhesive beads for controlled glibenclamide release**. Int J Biol Macromol.** 2015; 72:1069-75

[20] Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), 4. ed. rev. e ampl. - Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

[21] UTPOTT, M**. Utilização da mucilagem da chia (*salvia hispanica l*) na substituição de gordura e/ou gema de ovo em maionese**. 2012. (Monografia Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos Curso de Engenharia de Alimentos. Porto Alegre/ RS, 2012.

[22] WORRASINCHAI, S.; SUPHANTHARIKA, M.; PINJAI S.; JAMNONG P. β-Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. **Food hydrocolloids,** v. 20, n. 1, p. 68-78, 2006.

Capítulo 9

Avaliação do potencial do fubá de milho como aditivo energético em processos de compostagem: uma revisão sistemática da literatura

Roberta Brena Lourenço Lima
Isanna Menezes Florêncio
Elainy Virgínia dos Santos Pereira
Flávia Carolina Alonso Buriti
Vanderlania do Nascimento Santos
Danielly Barbosa dos Santos
Pablícia Oliveira Galdino
Hélvia Waleska Casullo de Araújo
Sonally de Oliveira Lima

Resumo: A compostagem é uma técnica amplamente utilizada para o tratamento e valorização de resíduos orgânicos, promovendo a reciclagem de nutrientes, a redução do impacto ambiental e a produção de composto com valor agronômico. Trata-se de um processo biológico controlado, no qual microrganismos decompõem a matéria orgânica, sendo influenciado por fatores químicos como a relação carbono/nitrogênio (C/N) e a disponibilidade de energia para a microbiota. Diante disso, o uso de aditivos naturais ricos em carboidratos tem sido estudado por seu potencial em acelerar o processo e melhorar a qualidade do composto final. Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de revisão bibliográfica, o potencial do fubá de milho como aditivo na compostagem. A pesquisa baseou-se em fontes científicas obtidas nas plataformas SciELO, Google Acadêmico, ResearchGate e ScienceDirect, considerando estudos que abordam a utilização de materiais como o farelo de arroz e o próprio fubá de milho, com foco em seus efeitos sobre a atividade microbiana, a relação C/N, a temperatura da pilha e a qualidade do composto para compostagem termofílica. Os resultados demonstraram que o fubá de milho, por ser rico em amido e açúcares simples, atua como fonte energética de rápida assimilação para os microrganismos, favorecendo a degradação da matéria orgânica. Apesar da escassez de estudos específicos, seus efeitos são similares aos de aditivos já consolidados, destacando-se ainda por sua acessibilidade, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Conclui-se que o uso do fubá na compostagem é promissor, porém requer validações experimentais que determinem a dosagem ideal e possíveis limitações práticas.

Palavras-chave: Microrganismos, Resíduos orgânicos, Relação C/N.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o desperdício de alimentos configura-se como uma problemática relevante e em constante expansão, com implicações sociais, econômicas e ambientais significativas. Estima-se que cerca de 35% de tudo o que é produzido nas lavouras do Brasil acaba não chegando ao prato das pessoas, colocando o país entre os maiores desperdiçadores de alimentos do mundo Sena (2019 apud Moura, 2013). Boa parte desses alimentos descartados é destinada a aterros sanitários (Lima, 2024; Sena *et al*., 2019) ou até mesmo em lixões, misturada com outros tipos de resíduos e sem nenhum tipo de tratamento adequado. Essa prática corrobora significativamente com a perda de recursos valiosos e problemas sociais e ambientais (Sena *et al*., 2019).

Tal cenário tem agravado os impactos ambientais, enquanto as soluções disponíveis para a gestão de resíduos não acompanham a velocidade do descarte. No Brasil, somente no ano de 2017, foram geradas cerca de 74,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que equivale a aproximadamente 214.868 toneladas por dia. Desse total, estima-se que cerca de 7 milhões de toneladas anuais não são coletadas ou recebem destinação inadequada (Abrelpe, 2018).

Conforme expõe o Ministério do Meio Ambiente (MMA), cerca de 50% dos resíduos gerados são orgânicos. Neste sentido, compostagem é uma alternativa potencial para a reciclagem de resíduos sólidos orgânicos (BRASIL, 2017). No entanto, estima-se que no Brasil, apenas 1,7 % do total de resíduos produzidos são reciclados. Um valor extremamente baixo, considerando que 80% dos resíduos sólidos do país, são constituídos por materiais recicláveis, secos e orgânicos, com alto potencial de recuperação (Brinck, 2020).

Ademais, Cotta *et al.,* (2021) destacam que a compostagem contribui beneficamente neste cenário por ser uma técnica essencial para o manejo sustentável de resíduos orgânicos, pois transforma materiais como restos vegetais, esterco bovino e serragem em um composto rico em nutrientes, promovendo a fertilidade e a saúde do solo. Além de reduzir significativamente o volume de lixo enviado aos aterros sanitários, ela contribui para a diminuição do uso de fertilizantes químicos, favorecendo práticas agrícolas mais ecológicas.

Sendo assim, o fubá de milho, por ser rico em amido e açúcares simples, apresenta-se como uma fonte de carbono prontamente disponível para os microrganismos envolvidos na compostagem. Estudos têm demonstrado que a inclusão de fubá em processos fermentativos, como a silagem, melhora parâmetros químicos como o pH, o teor de matéria seca, a concentração de ácidos orgânicos (especialmente ácido lático) e o balanço entre carbono e nitrogênio (C/N), promovendo um ambiente mais favorável à atividade microbiana. Esses resultados sugerem o potencial do fubá como aditivo na compostagem, contribuindo para acelerar a degradação da matéria orgânica e otimizar a eficiência do processo biológico (Santos, 2024).

Apesar de ser um sub produto do milho, o fubá por ser gerado em grandes quantidades na indústria moageira acaba sendo descartado inadequadamente. Mothé *et al.,* (2005) analisaram o fubá grosso, proveniente da moagem seca do milho, que frequentemente se acumula nas indústrias moageiras devido à falta de aplicações comerciais viáveis, caracterizando-se assim como um resíduo industrial. Os resultados indicaram que o fubá grosso possui propriedades que podem ser aproveitadas em diversas aplicações industriais, como na produção de bioplásticos, rações animais e biofertilizantes, sugerindo estratégias para agregar valor a esse material e reduzir seu descarte inadequado.

Além disso, pesquisas recentes têm explorado o uso do fubá na produção de bioplásticos biodegradáveis, evidenciando sua versatilidade e potencial em aplicações sustentáveis. Zhang *et al*., (2023) desenvolveram um bioplástico à base de amido de milho com propriedades de autocura, destacando a capacidade do fubá de formar materiais com características desejáveis para aplicações ambientais.

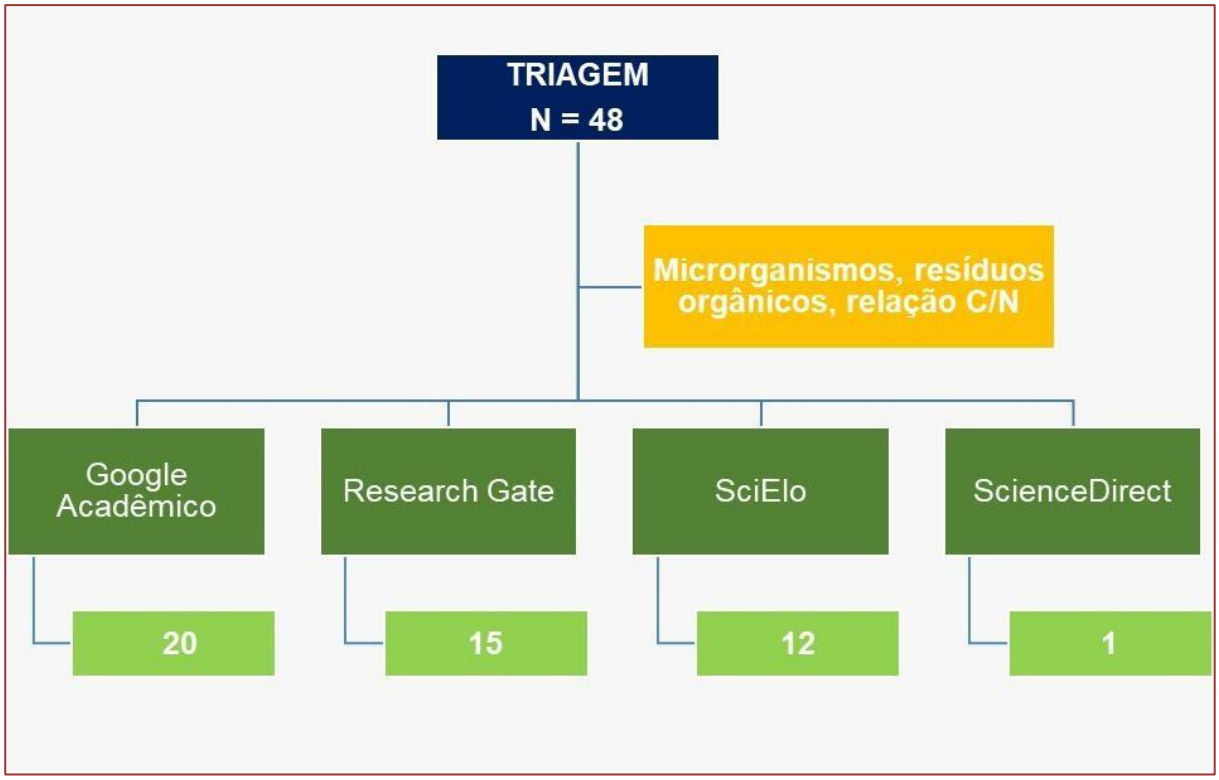
Este trabalho tem como propósito compreender, por meio de uma pesquisa bibliográfica, como a adição do fubá de milho pode contribuir para melhorar o processo de compostagem de resíduos orgânicos. A partir da análise de estudos publicados entre 2009 e 2025, buscou-se identificar de que forma esse ingrediente, rico em carboidratos de fácil assimilação, pode influenciar positivamente a atividade dos microrganismos, acelerar a decomposição da matéria orgânica e aprimorar a qualidade do composto final. Ao reunir e refletir sobre diferentes pesquisas, este estudo procura lançar um olhar atento e crítico sobre alternativas sustentáveis que podem tornar a compostagem ainda mais eficiente e acessível.

2. METODOLOGIA

Este trabalho de revisão bibliográfica caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva.

A coleta de dados ocorreu por meio da seleção de publicações disponíveis em bases de dados científicas e institucionais, entre os meses de março a maio de 2025. A partir dos descritores utilizados “microrganismos”, “resíduos orgânicos”, “relação C/N” nas plataformas eletrônicas utilizadas, foram selecionados um total de 48 trabalhos científicos publicados entre os anos de 2009 e 2025. Ademais, as fontes utilizadas nesta pesquisa foram organizadas de acordo com a plataforma de origem, com a intenção de garantir uma variedade de autores e perspectivas sobre o tema. O processo de seleção de estudo é demonstrado na Figura 1.

Figura 1. Representação sistemática do método de busca e dos resultados obtidos



N*: Número de amostragens

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A escolha das fontes considerou critérios como a atualidade das publicações, a relevância específica para o uso de aditivos orgânicos na compostagem — com ênfase no fubá de milho — e a confiabilidade das informações. O conteúdo referenciado abordou, principalmente, a relação carbono/nitrogênio (C/N) dos aditivos, os efeitos do fubá como fonte energética na aceleração da atividade microbiana, sua contribuição para a eficiência do processo de degradação da matéria orgânica, bem como o potencial de sua aplicação prática no melhoramento da compostagem.

O Google Acadêmico destacou-se como a principal fonte, com 20 publicações selecionadas por sua pertinência ao tema. A plataforma ResearchGate contribuiu com 15 trabalhos científicos, ampliando o acesso a estudos compartilhados por pesquisadores. Já a base SciELO, reconhecida por seu rigor metodológico e qualidade editorial, forneceu 11 documentos relevantes. Por fim, a base internacional ScienceDirect resultou em 1 publicação, reforçando a diversidade das fontes utilizadas no mapeamento bibliográfico.

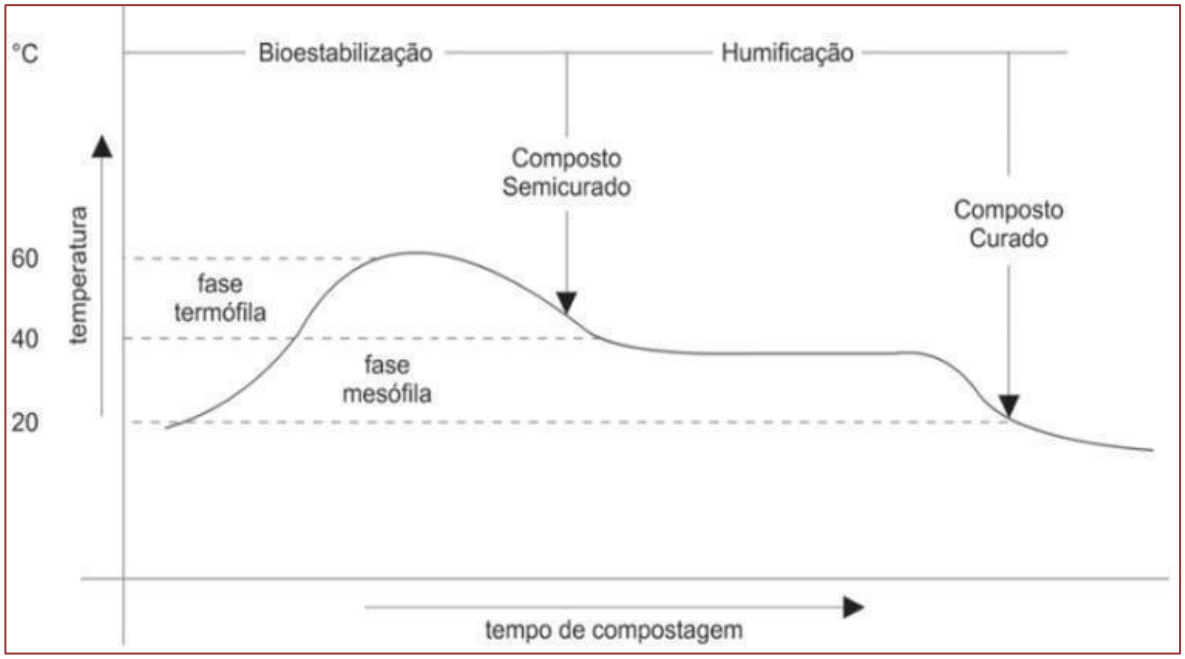
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Compostagem é uma metodologia simples aplicada à transformação de materiais orgânicos brutos em um material mais estável e rico em nutrientes para o solo. Tal modificação se faz pela ação decompositora de microrganismos em condições aeróbias e controladas (Brinck, 2020). Esse processo biológico atua na decomposição controlada de diversos resíduos orgânicos, incluindo restos de alimentos, folhas, frutos, esterco, palhas, entre outros materiais de origem vegetal e animal. Como resultado, obtém-se um

composto orgânico de coloração escura, textura homogênea e quimicamente estável, adequado para uso como fertilizante natural em diversas culturas agrícolas. Além de promover o enriquecimento do solo, essa prática sustentável auxilia na redução dos impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos orgânicos (Sena *et al*., 2019).

A compostagem evolui por etapas sucessivas marcadas por diferentes perfis térmicos e microbiológicos. A princípio, na fase mesofílica, temperaturas menores estimulam microrganismos que iniciam a degradação de compostos simples. À medida que a atividade microbiana se intensifica, alcança-se a fase termofílica, caracterizada por temperatura elevada, que favorece a decomposição de materiais mais resistentes e promove a eliminação de possíveis patógenos. Após esse pico térmico, ocorre uma transição de volta à fase mesofílica, com redução gradual da temperatura. Por fim, na fase de maturação, o composto estabiliza-se, o calor decresce até a faixa ambiente e estabelece-se um perfil microbiológico adaptado à matéria orgânica transformada, indicando que a obtenção de um produto maturado (Valente et al., 2009). A Figura 2 mostra a curva padrão de temperatura durante o processo de compostagem.

Figura 2. Curva de padrão de temperatura durante a compostagem



Fonte: Souza et al., 2020.

Para que essa dinâmica ocorra adequadamente, é necessário que o ambiente esteja propício para os microrganismos atuarem. Conforme exposto pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), os principais nutrientes para formação de compostagem é o carbono (C) que atuará como fonte de energia e o nitrogênio (N) como principal ajudante nas sínteses de proteínas. A proporção entre esses dois nutrientes (C/N) recomendada para o desenvolvimento adequado da compostagem é de 25/1 a 35/1 (Brick, 2020).

A ausência de oxigênio pode levar à formação de ambientes anaeróbios, resultando na produção de compostos indesejáveis, como metano e ácido sulfídrico, além de maus

odores. Métodos como o revolvimento periódico das pilhas, a utilização de exaustores eólicos ou sistemas de aeração forçada são estratégias adotadas para manter a oxigenação adequada. (Veras, 2020).

A princípio, os microrganismos mesofílicos iniciam o processo com intensa atividade metabólica, elevando a temperatura da pilha. À medida que essa temperatura ultrapassa os 45 °C, esses organismos são gradualmente substituídos por microrganismos termofílicos, mais adaptados a ambientes quentes e eficientes na decomposição de compostos mais complexos. Essa fase termofílica, geralmente mantida entre 45 °C e 65 °C, é essencial não apenas para acelerar a decomposição, mas também para eliminar patógenos e sementes de plantas indesejadas. Com o passar do tempo, observa-se uma redução gradual da temperatura, sinalizando o declínio da atividade biológica e o início da fase de maturação do composto. Manter a compostagem dentro dessa faixa ideal de temperatura é crucial para assegurar um processo eficiente e um composto final estável e de boa qualidade (Silva et al., 2020).

A umidade é outro parâmetro essencial no processo de compostagem, pois ela desempenha um papel fundamental na formação do composto, buscando um equilíbrio na relação entre água e ar, para isso, é importante manter o teor de umidade dentro da faixa ideal de aproximadamente 55%. Teores abaixo de 40% podem inibir a atividade biológica, enquanto teores acima de 65% podem ocupar os espaços vazios com água, dificultando a aeração da massa (Barendrechte *et al*., 2024).

Um aspecto adicional de grande relevância no processo de compostagem é o Potencial Hidrogeniônico (pH), que influencia diretamente a atividade microbiana responsável pela decomposição da matéria orgânica. Durante a fase inicial da compostagem, o pH tende a ser mais ácido, variando entre 6,7 e 6,9, devido à produção de ácidos orgânicos resultantes da degradação de moléculas simples. À medida que o processo evolui, ocorre um aumento gradativo do pH, alcançando valores alcalinos, como 8,37, estabilizando-se próximo da neutralidade na fase de maturação, geralmente em torno de 7,5, o que favorece a atividade dos microrganismos decompositores (Heck *et al*., 2013).

3.1. RELAÇÃO CARBONO E NITROGÊNIO NA COMPOSTAGEM

Um dos fatores mais importantes nesse contexto é a relação entre carbono e nitrogênio (C/N), que influencia diretamente o fluxo de decomposição e a eficiência da compostagem. De acordo com Brinck (2020), uma proporção inicial entre 25:1 e 35:1 é ideal para promover o crescimento adequado dos microrganismos. À medida que o processo avança e a matéria orgânica se estabiliza, essa relação naturalmente se reduz para menos de 20:1 (Wieser *et al*., 2016), o que indica que o composto está se aproximando da maturação.

Cotta *et al*., (2015) mostraram que, em processos aeróbios, a atividade microbiana consome de 15 a 30 partes de carbono para cada parte de nitrogênio, mantendo uma relação C/N ideal entre 15:1 e 30:1. Essa proporção é importante para evitar perdas de nitrogênio por volatilização e garantir uma decomposição eficiente dos resíduos orgânicos.

Complementando, Gomes (2021) observou que a relação C/N tende a diminuir progressivamente ao longo da compostagem, saindo de uma média de 30:1 no início para valores entre 15:1 e 17:1 ao final. Essa mudança é um indicativo natural de que o material está sendo transformado com sucesso e que o composto final será de boa qualidade.

3.2. ADITIVOS E ACELERADORES NATURAIS DA COMPOSTAGEM

A incorporação de compostos orgânicos ao solo pode promover alterações tanto no conteúdo quanto na qualidade da matéria orgânica do solo, influenciando de forma duradoura suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Essas modificações contribuem para a melhoria da estrutura do solo, maior retenção de água, maior atividade microbiana e aumento na disponibilidade de nutrientes (Damatto Junior *et al*., 2006).

Estudos demonstram que o uso de compostos orgânicos, formulados a partir de resíduos vegetais, como esterco caprino e torta de mamona, podem promover melhorias significativas nas propriedades químicas do solo, especialmente em cultivos orgânicos de mangueira da variedade 'Tommy Atkins'. Entre os benefícios observados estão o aumento dos teores de matéria orgânica, elevação do pH do solo, além do incremento nos níveis de cálcio trocável, na soma de bases e na saturação por bases, com destaque para as camadas mais superficiais do solo (Silva *et al*., 2012).

A casca de arroz, por exemplo, é amplamente reconhecida como um aditivo promissor na compostagem devido ao seu elevado teor de carbono e à alta relação (C/N). Estudos indicam que a casca de arroz possui uma relação C/N em torno de 60:1 (como mostra no Quadro 1), o que a torna eficaz para equilibrar resíduos com alto teor de nitrogênio, como estercos e restos de alimentos. Além disso, sua composição rica em celulose e lignina contribui para a estruturação do composto, promovendo aeração e absorção de umidade, fatores essenciais para a eficiência do processo de compostagem (Vione *et al*., 2018).

No Quadro 1, são apresentados diversos materiais comumente utilizados como aditivos na compostagem e suas respectivas relações C/N. Observa-se que materiais como serragem de madeira (865:1), bagaço da cana de açúcar (97,84:1), casca de arroz (63:1) e palha de milho (112:1) apresentam altas relações C/N, caracterizando-se como materiais estruturantes, ricos em carbono. Estes devem ser utilizados com cautela e preferencialmente em combinação com fontes ricas em nitrogênio para evitar lentidão no processo de mineralização da matéria orgânica.

Quadro 1 – Relação C/N de aditivos comuns para compostagem

N°	Aditivo para Compostagem	Relação C/N Aproximada	Observações	Autores/ Ano
A1	Cinza de caldeira (cana-de- açúcar)	47,25 : 1	Rica em minerais, contribuiu para o aumento do pH do composto, tornando-o mais alcalino.	Garcia (2021)
	Bagaço de cana-de-açúcar	97,84 : 1	Rico em carbono, foi utilizado para ajustar a relação C/N.	
A2	Casca de arroz	63 : 1	Alto teor de carbono, usado para equilibrar resíduos nitrogenados.	Lima (2011)
	Esterco bovino	18 : 1	Fonte de nitrogênio, favorece a atividade microbiana.	
	Palha de milho	112 : 1	Material fibroso, alto teor de carbono.	
	Serragem de madeira	865 : 1	Muito alto em carbono, deve ser usado com moderação.	
A3	Palha de café	36,0 : 1	As medas de compostagem contendo palha de café apresentaram mais rápida maturação.	Matos et. al., (1998)

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Por outro lado, resíduos esterco bovino (18:1) e palha de café (36:1) são considerados materiais nitrogenados, de rápida decomposição, que favorecem o aumento da temperatura da leira e aceleram a atividade microbiana (Inácio, 2010). A utilização isolada desses materiais, no entanto, pode levar à liberação de amônia e à formação de odores desagradáveis, o que evidencia a necessidade de equilíbrio com fontes de carbono.

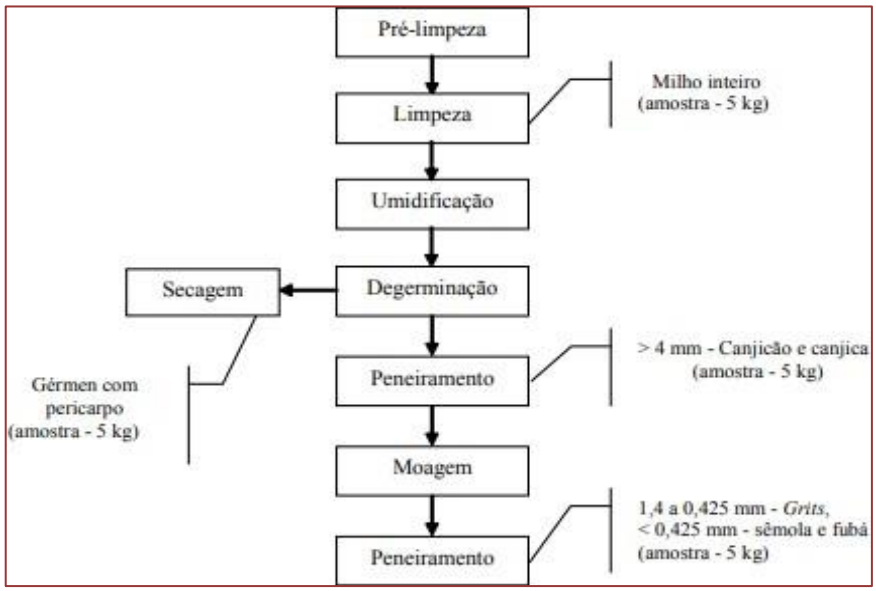
A palha de milho é amplamente utilizada como material estruturante na compostagem devido às suas características físicas e à sua relação carbono/nitrogênio (C/N). Segundo Abreu et al. (2010), a palha de milho apresenta uma relação C/N inicial de aproximadamente 111:1, o que a classifica como um material rico em carbono. Essa alta relação C/N contribui para a aeração e estruturação da pilha de compostagem, facilitando o manejo da umidade e do oxigênio durante o processo. Além disso, ao ser combinada com materiais ricos em nitrogênio, como esterco ou restos de alimentos, a palha de milho ajuda a equilibrar a relação C/N da mistura, promovendo uma decomposição eficiente e reduzindo a emissão de odores desagradáveis.

Assim, a combinação dos resíduos do milho, palha e/ou fubá como fonte carbonada, pode representar uma estratégia sustentável para o manejo de resíduos orgânicos, contribuindo para o equilíbrio da relação C/N, a eficiência do processo de compostagem e a produção de composto final de qualidade para uso agrícola.

3.3. PROCESSO PRODUTIVO DO FUBÁ POR VIA SECA

Inicialmente, na etapa de pré-limpeza, os grãos passam por mesa gravimétrica, para separação de impurezas, e, depois, por canal de aspiração, para a limpeza dos grãos e retirada de impurezas mais finas. A seguir, as amostras são umidificadas, para obtenção de umidade em torno de 16%, em sistema de condicionamento contínuo (Castro *et al.*, 2009). O processo pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma simplificado do processamento de grãos de milho (por via seca)



Fonte: Castro *et al.*, 2009.

Após a umidificação, os grãos passam pela degerminação, etapa na qual o gérmen e o pericarpo (casca) são separados do endosperma. O endosperma, rico em amido, é então moído e classificado em diferentes frações de tamanho, como *grits*, fubá e farinha fina, por meio de peneiramento e classificação granulométrica (Sanches *et al.*, 2024).

Mikalouski *et al.*, (2014) realizaram um estudo sobre a granulometria dos subprodutos do milho, no qual demonstraram que o grits de milho apresentou partículas com tamanho variando entre 0,425 mm e 0,600 mm; o fubá mimoso apresentou partículas com diâmetro médio em torno de 0,300 mm; e o fubá mimoso fino apresentou granulometria inferior a 0,250 mm.

Ademais, o grão de milho, especialmente na forma de fubá, destaca-se por sua ampla versatilidade de uso. Além de ser largamente consumido na forma de snacks e outros alimentos processados (Francelin *et al.*, 2021), é um ingrediente fundamental na formulação de rações animais, representando mais de 60% da composição total desses produtos (Oelke; Ries, 2013). Essa ampla aplicabilidade evidencia o potencial do milho como uma fonte rica em nutrientes e com diversas possibilidades de aproveitamento.

3.4. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO FUBÁ DE MILHO E DO FARELO DE ARROZ: UM BREVE COMPARATIVO

O fubá de milho, obtido pela moagem do grão de milho, é amplamente utilizado na alimentação humana e animal devido ao seu perfil nutricional. Conforme é apresentado na Tabela 1, a cada 100 gramas de fubá cru, encontram-se aproximadamente 78,9 g de carboidratos, 7,2 g de proteínas e 1,9 g de gorduras totais. Esses valores indicam que o fubá é uma fonte significativa de energia, principalmente devido ao seu alto teor de carboidratos, o que o torna um aditivo potencialmente eficaz na compostagem.

Além do fubá de milho, outros farelos, como o farelo de arroz, são utilizados como aditivos na compostagem. O farelo de arroz, por exemplo, é um subproduto da moagem do arroz e possui composição nutricional aproximada ao fubá. Como visualizado na Tabela 1, 100 g de farelo de arroz contêm aproximadamente 49,7 g de carboidratos, 13,4 g de proteínas e 20,9 g de gorduras totais. Rocha *et al.*, (2020) demonstraram que a suplementação de substratos com 5% de farelo de arroz mostrou-se eficaz na promoção do crescimento de microrganismos benéficos, acelerando o processo de compostagem.

Tabela 1 – Composição centesimal do fubá e farelo de arroz

Produto	Umidade (%)	Energia (Kcal)	Proteína (g)	Carboidratos (g)	Gorduras Totais (g)
Fubá cru	11,5	353	7,2	78,9	1,9
Farelo de arroz	6,13	316	13,35	49,69	20,85

Fonte: Adaptado de TACO (2011) e TABNUT (2016).

Observando-se a Tabela 1 e comparando-se os dois farelos, entende-se que o fubá de milho possui maior teor de carboidratos e menor teor de gorduras, o que pode favorecer a atividade microbiana na compostagem (Valente *et al.*, 2009). Por outro lado, o farelo de arroz apresenta maior teor de proteínas e gorduras, características que apresentadas no estudo de Fan et al. (2016) indicaram que a adição de farelo de arroz, juntamente com

inoculantes microbianos, elevou significativamente a temperatura do processo (>50 °C), reduziu odores desagradáveis e resultou em compostos com pH neutro ou ligeiramente alcalino (pH 7–8) e uma relação C:N em torno de 10, indicando compostos maduros e estáveis.

O fubá de milho, por ser composto majoritariamente por carboidratos de fácil degradação, como o amido e os açúcares simples, representa uma fonte energética prontamente assimilável pelos microrganismos atuantes na decomposição da matéria orgânica. Essa característica favorece a intensificação da atividade microbiana nas fases iniciais da compostagem, resultando em maior liberação de calor e, consequentemente, elevação da temperatura da pilha — aspecto essencial para o progresso adequado do processo e a higienização do composto (Heck *et al*., 2013).

O Quadro 2 expõe uma comparação entre aditivos naturais empregados com o objetivo de potencializar o processo de compostagem, com ênfase em sua composição, função, vantagens e possíveis limitações. Tais aditivos têm sido amplamente estudados devido ao seu baixo custo, ampla disponibilidade e eficácia no estímulo à atividade microbiana, além de contribuírem para a melhoria das características físico-químicas do composto final (Brinck, 2020).

Quadro 2 – Características de aditivos naturais na compostagem

Aditivo Natural	Composição (Nutrientes)	Função na Compostagem	Vantagens	Possíveis Limitações
Farelo de arroz	Rico em carbono, fibras, óleo	Melhora a relação C/N e serve de alimento para microrganismos	Acelera a compostagem e melhora a estrutura do composto	Pode atrair insetos se usado em excesso
Fubá (farinha de milho)	Rico em amido e açúcares	Fonte energética rápida para os microrganismos	Aumenta a atividade microbiana, acelera o processo	Fermentação excessiva se mal dosado
Melaço de cana	Açúcares simples, minerais	Estímulo rápido da flora bacteriana	Rápido aumento da temperatura e da decomposição	Pode causar maus odores se não bem equilibrado
Cinza vegetal	Minerais (K, Ca, Mg), pH alcalino	Corrige acidez e fornece minerais ao composto	Regula o pH e enriquece o composto final	Em excesso, pode alcalinizar demais o solo
Pó de rocha	Minerais silicatados	Liberação lenta de nutrientes minerais	Melhora a fertilidade do solo a longo prazo	Ação mais lenta, não acelera o processo

Fonte: Adaptado de Inácio *et al*., (2009) e Brick (2020).

Embora ainda escassos os estudos aplicados diretamente à compostagem, Barreiros *et al*., (2007) avaliaram os efeitos da adição de fubá de milho na fermentação de resíduos da extração do palmito da pupunha (*Bactris gasipaes Kunth)*, em um processo análogo à compostagem quanto à degradação da matéria orgânica. No experimento, o fubá foi adicionado em diferentes proporções (0%, 5%, 10% e 15%) aos resíduos vegetais, sendo então submetido à ensilagem por 56 dias.

Os resultados revelaram que o fubá melhorou significativamente os parâmetros fermentativos, reduzindo o pH final da silagem e elevando os teores de matéria seca e proteína bruta. Tais alterações indicam uma estabilização mais eficiente da biomassa e maior conservação dos nutrientes, reflexo direto do fornecimento extra de energia aos

microrganismos. Além disso, o estudo apontou uma diminuição da perda de matéria seca, sugerindo que o fubá contribuiu para uma fermentação mais eficiente e menos deterioração da massa vegetal.

Neste contexto, compreende-se que a literatura sugere que o uso de fubá de milho pode beneficiar também o processo de compostagem, funcionando como um aditivo energético que estimula a atividade biológica, melhora a estabilidade do composto e contribui para o equilíbrio da relação carbono/nitrogênio (C/N), elemento chave na qualidade do produto final.

3. 5. POTENCIAL DO FUBÁ DE MILHO NA COMPOSTAGEM: UMA ANÁLISE BASEADA EM ESTUDOS DE SILAGEM

A silagem é o produto da fermentação anaeróbica controlada de forragens úmidas, como o milho, realizada em silos ou fardos vedados. Esse processo, denominado ensilagem, visa conservar o valor nutricional da planta, permitindo seu armazenamento e uso na alimentação de ruminantes durante períodos de escassez de forragem. A fermentação é promovida por bactérias láticas que convertem os açúcares solúveis da planta em ácido lático, reduzindo o pH e prevenindo a degradação indesejada. Em regiões semiáridas, a silagem é uma estratégia crucial para garantir a alimentação dos rebanhos durante a estiagem, já que a produção de forragem é limitada e sazonal. Além de preservar nutrientes, a silagem também contribui para a conservação da água, essencial em áreas secas (Paula *et al.,* 2021).

Logo, adição de fubá de milho em processos fermentativos, como a silagem, tem apresentado efeitos significativos na melhoria da qualidade do material final, o que sugere seu potencial benefício também em processos de compostagem. O fubá de milho é rico em carboidratos de rápida assimilação, principalmente amido, o que o torna uma fonte energética prontamente disponível para microrganismos. Esse suprimento energético pode intensificar a atividade microbiana, especialmente nas fases iniciais da compostagem, contribuindo para o aumento da temperatura da pilha e a aceleração da decomposição da matéria orgânica. (Silva *et al.,* 2024).

Barreiros *et al*., (2007) avaliaram o efeito da adição de fubá de milho na silagem do resíduo da extração do palmito da pupunha (*Bactris gasipaes*). Os autores observaram que a adição de 10% de fubá resultou no aumento da matéria seca para 19,71% e da proteína bruta (PB) para 7,09%. Ainda que não tenha ocorrido uma redução significativa no valor de N- NH_3/NT (7,89%), os dados indicam melhoria no perfil fermentativo, o que torna a silagem uma alternativa viável para uso na alimentação de ruminantes.

Santos (2024) estudou a silagem de capim-elefante BRS Capiaçu com inclusão de fubá de milho, observando benefícios similares. Houve aumento nos teores de matéria seca, proteína bruta e estabilidade da silagem durante o armazenamento, evidenciando que o fubá melhora os parâmetros fermentativos e reduz perdas nutricionais. Tais efeitos são atribuídos ao fornecimento imediato de substrato energético aos microrganismos fermentadores.

Complementarmente, o estudo conduzido por Silva *et al*., (2024) investigou os efeitos da adição de fubá de milho na silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), uma planta forrageira nativa do semiárido brasileiro. Os resultados indicaram que a inclusão de níveis crescentes de fubá de milho (0%, 10%, 20% e 30%) na massa ensilada promoveu melhorias significativas nos parâmetros químicos e fermentativos da silagem. A adição de

fubá de milho aumentou as concentrações de matéria seca, carboidratos não- fibrosos, hemicelulose e nutrientes digestíveis totais, enquanto reduziu os teores de proteína bruta, lignina, matéria mineral, ácido butílico e o pH da silagem. Essas alterações indicam uma fermentação mais eficiente e uma composição bromatológica mais favorável para a alimentação de ruminantes. Esses estudos sugerem que a adição de fubá de milho pode melhorar o perfil fermentativo e a qualidade nutricional da silagem de maniçoba, desde que em níveis moderados.

Embora focados na silagem e fermentação, os achados desses estudos são relevantes para a compostagem. Ambos os processos dependem da atividade microbiana e da disponibilidade de carbono de fácil assimilação. Dessa forma, a inclusão de fubá de milho na compostagem pode representar uma estratégia eficaz para aumentar a eficiência da decomposição da matéria orgânica, melhorar o equilíbrio da relação carbono/nitrogênio (C/N) e reduzir potencialmente o tempo necessário para obtenção de um composto estabilizado e de boa qualidade agronômica.

4. CONCLUSÕES

A compostagem representa uma prática essencial para o manejo sustentável de resíduos orgânicos, promovendo a reciclagem de nutrientes, a redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários e a produção de composto orgânico de alto valor agronômico. Em um cenário de crescente preocupação ambiental e demanda por soluções sustentáveis, o aprimoramento desse processo biológico torna-se fundamental.

A revisão bibliográfica evidenciou o potencial do fubá de milho como aditivo natural na compostagem, devido à sua composição rica em amido e açúcares simples, que atuam como fontes energéticas de rápida assimilação para os microrganismos decompositores. Embora os estudos específicos sobre a aplicação direta do fubá de milho na compostagem ainda sejam escassos, os fundamentos teóricos indicam que sua adição pode favorecer a atividade microbiana, acelerar o processo de biodegradação e reduzir o tempo necessário para a maturação do composto.

Dessa forma, conclui-se que a seleção criteriosa de aditivos naturais, aliada ao monitoramento de variáveis como temperatura, umidade e relação C/N, é determinante para o sucesso da compostagem. Nesse contexto, o fubá de milho surge como uma alternativa viável, de baixo custo e ambientalmente sustentável. No entanto, reforça-se a necessidade de estudos experimentais complementares que comprovem sua eficácia prática, estabeleçam dosagens ideais e avaliem possíveis limitações, assegurando a qualidade e a segurança do composto final produzido.

REFERÊNCIAS

[1] ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Brasília: CEPAGRO, 2018.

[2] ABREU, V. *et al*. Acícula de pinus, bagaço de cana, palha de milho, casca de amendoim, capim e maravalha como substratos na compostagem de carcaça de frango de corte. **Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 56)**, 2010.

[3] BARENDRECHTE, B. *et al*. Avaliação da eficiência da compostagem de resíduos orgânicos com filme biodegradável à base de amido de mandioca e álcool polivinílico incorporado com extrato de bagaço de malte. *In*: CONGRESSO SUL AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 7., 2024, CURITIBA. **Anais** [...]. Curitiba: IBEAS, 2024.

[4] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional**

de resíduos orgânicos: Manual de orientação. Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília, DF: MMA, 2017.

[5] BRINCK, R. R. L. Compostagem: Ferramenta Sustentável de Educação Ambiental e Redução de Resíduos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 2020.

[6] CARVALHO, M. G. **Compostagem de resíduos verdes e orgânicos alimentares**: uma abordagem para a gestão de resíduos sólidos urbanos. 2015. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

[7] CASTRO, M. V. L. *et al*. Rendimento industrial e composição química de milho de alta qualidade protéica em relação a híbridos comerciais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 233-242, 2009.

[8] COTTA, J. A. de O. *et al*. Compostagem *versus* vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015.

[9] COTTA, S. P. M. *et al*. Thermo-resistant enzyme-producing microorganisms isolated from composting. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e244205, 2021.

[10] DAMATTO JUNIOR, E. R. *et al*. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura,** v. 28, p. 546-549, 2006.

[11] EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Circular Técnica n.º 56**: Acícula de pinus, bagaço de cana, palha de milho, casca de amendoim, capim e maravalha como substratos na compostagem de carcaças de aves. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2010. 8 p.

[12] FRANCELIN, M. F. *et al*. Desenvolvimento e caracterização de snack de milho extrusado com adição de farinha de ora-pro-nóbis. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e2910312850-e2910312850, 2021.

[13] GARCIA, I. Z. **Compostagem de resíduos orgânicos da indústria sucroenergética**: influência da relação C/N inicial e da adição de vinhaça. 2021. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

[14] GOMES, D. J S. **Aceleração da compostagem em reposta à inoculação bacteriana**. 2021. 89 f. 2021. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) - Universidade Federal de Viçosa, Florestal, 2021.

[15] GOMES, T. R. *et al*. Efeito da inclusão de farelo de arroz integral em rações para leitões de 21 a 42 dias de idade. **Archivos de zootecnia**, v. 61, n. 233, p. 129-139, 2012.

[16] HECK, K. *et al*. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 54-59, 2013.

[17] INÁCIO, C. T. **Compostagem de restos de alimentos com aparas de grama e esterco de animais**: monitoramento do processo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

[18] KOHLER, T. W. **Compostos orgânicos a base de resíduos agrícolas como substrato para produção de mudas de cana-de-açúcar e capim-elefante**. 82 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

[19] LIMA, D. M. **Tabela brasileira de composição de alimento**. 4. ed. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011.

[20] LIMA, S. de O. **Comparação do potencial biotecnológico de Penicillium sp e Chrysosporim sp na produção sustentável de biossurfactante utilizando resíduos agroindustriais**. 2025. 59 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2024.

[21] MATOS, A. T. de. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 2, n. 2, p. 199–203, 1998.

[22] MIKALOUSKI, F. B. da S. *et al*. Influência da granulometria da matéria-prima na expansão de extrusados de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 28-32, 2014.

[23] MOTHÉ, C. G.; DAMICO, A.; MACHADO, M. da G. S. Estudo termoanalítico, CLAE e francionamento físico e químico do subproduto industrial do milho. **Food Science and Technology**, v. 25, p. 1-7, 2005.

[24] OELKE, C. A.; RIES, E. F. **Tecnologia de rações**. Santa Maria: UFSM, 2013.

[25] PAULA, T. A. de *et al*. Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas-revisão sistemática. **Arquivos do Mudi**, v. 25, n. 2, p. 127-154, 2021

[26] PEIXOTO, G. T. *et al*. Diferentes relações C/N inicial para tratamento de lodo de curtume via compostagem. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, 2022.

[27] RESSETTI, R. R.; CAMPOS, S. Xavier. Aceleração do Processo de Compostagem: Uma revisão. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-12, 2020.

[28] ROCHA, M. I. *et al*. Desenvolvimento de biocompósitos fúngicos utilizando resíduos industriais. **Matéria**, v. 25, p. e-12840, 2020.

[29] ROMUALDO, T. *et al*. Efeito da inclusão de fubá de milho e período de fermentação sobre a composição química da silagem de maracujá. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA ZOOTEC, 25., 2015, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: ABZ, 2015.

[30] SANCHES, A. L. R. *et al*. Os impactos dos preços do milho ao longo das cadeias consumidoras. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 3, p. e274483, 2024.

[31] SANTOS, I. D. L. **Silagem de capim-elefante brs capiaçu com adição de fubá de milho na ensilagem**. 34 f. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2024.

[32] SCHALCH, V.; MASSUKADO, L. M.; BIANCO, C. I. Compostagem. *In:* NUNES, R. R.;REZENDE, M. O. de O. **Recursos Solos - Propriedades e Uso**. São Paulo: Editora Cubo, 2015.

[33] SENA, L. M. *et al*. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 266-272, 2019.

[34] SILVA, A. L. F. da. **Atributos químicos e biológicos no solo do uso de compostagem da casca de mandioca**. 99 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.

[35] SILVA, F. A. Compostagem como ferramenta para destinação de carcaças de aves. **Avicultura Industrial**, Itu, ed. 1254, ano 107, n. 04, p. 20-25, 2016.

[36] SILVA, J. *et al*. Uso de compostos orgânicos na cultura da mangueira cv. Tommy Atkins e seu efeito sobre o carbono orgânico total em um Argissolo Amarelo. *In*: WORKSHOP INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2., 2012, Pelotas. **Anais** [...] Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012.

[37] SILVA, J. L. da. **Estudo da compostagem doméstica como instrumento de sustentabilidade ambiental e melhoria da qualidade de vida**: uma revisão bibliográfica. 2023. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2023.

[38] SILVA, P. H. F. da *et al*. Níveis crescentes de fubá de milho melhoram parâmetros químico-bromatológicos e fermentativos da silagem de maniçoba. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. 75861E, 2024.

[39] SOUZA, A. L. K. *et al*. Compostagem com aeração forçada como alternativa de aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria conserveira. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 16, n. 1-4, 2010.

[40] SOUZA, L. A. *et al*. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

[41] TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: UNICAMP, 2011. 161 p.

[42] TABNUT. Tabela de Composição Química dos Alimentos, 2016. Disponível em: https://tabnut.dis.epm.br/. Acesso em: 17 Abr. 2025.

[43] VALENTE, B. S. *et al*. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009.

[44] VAN FAN, Y. *et al*. Physico-chemical and biological changes during co-composting of model kitchen waste, rice bran and dried leaves with different microbial inoculants. **Malaysian Journal of Analytical**

Sciences, v. 20, n. 6, p. 1447-1457, 2016.

[45] VERAS, R. S. *et al*. Compostagem de resíduos urbanos em leiras estáticas com aeração passiva. **Revista DAE**, v. 68, n 224, p 168-183, 2020.

[46] VIANCELLI, A. *et al*. Comportamento de micro-organismos patogênicos durante processo de compostagem de carcaças de suínos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e21011124774-e21011124774, 2022.

[47] VIONE, E. L. B. *et al*. Caracterização química de compostos e vermicompostos produzidos com casca de arroz e dejetos animais. **Revista Ceres**, v. 65, p. 65-73, 2018.

[48] WIESER, C. J. et al. Compostagem doméstica avaliada por meio da temperatura e relação C/N. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 3, n. 2, p. 863-870, 2016.

[49] WIESER, C. J; FREITAS, L. M. C.; STEFANUTTI, R. Resíduos sólidos: compostagem doméstica avaliada por meio da temperatura e relação C/N. *In*: ENEEAmb, 14., 2016, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: SBEA, 2016.

[50] ZHANG, X. *et al*. Flexible, thermal processable, self-healing, and fully bio-based starch plastics by constructing dynamic imine network. **Green Energy & Environment**, v. 9, n. 10, p. 1610-1618, 2023.

Capítulo 10

Secagem em camada de espuma da polpa integral de umbú-cajá: caracterização química e fisíco-química

Mylena Maria Dias de Oliveira Silva
Fabrícia Santos Andrade
Sonally de Oliveira Lima
Pablícia Oliveira Galdino

Resumo: As *Spondias* são frutas sazonais, disponibilizadas para comércio apenas três meses por ano e que tem uma grande importância econômica pelas suas características físicas, químicas e físico-químicas. Essa pesquisa teve como objetivo produzir o pó de umbú-cajá pelo processo de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*). A polpa do umbú-cajá in natura foi caracterizada quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos: pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água, cinzas, fibras, ácido ascórbico, açucares redutores e não redutores, açúcares totais. Foi realizado um planejamento experimental fatorial 22 +3 pontos centrais, tendo como variáveis independentes, a concentração de albumina (5,0; 7,5 e 10,0 %) e o tempo (1, 2 e 3 minutos), sendo avaliado como parâmetro de densidade padrão, próximo de 0,5 g/mL, todas as espumas elaboradas obtiveram densidade dentro dessa margem, sendo caracterizadas quanto aos mesmos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos para a polpa integral. De acordo com o planejamento fatorial 23 para o processo de elaboração das espumas, definiu-se como a melhor condição de processo a concentração de albumina (10%) e o tempo de batimento de (1 minuto) em respostas dos maiores valores médios de densidade, teor de água, cnzas, fibras, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores e ácido ascórbico. A secagem em camada de espuma foi realizada em secador de bandejas na temperatura de 60°C. A caracterização física, química, físico-química dos pós: insolubilidade, molhabilidade, tempo de reconstituição, tempo de reconstituição, ângulo de repouso e rendimento; foi realizada para selecionar a melhor amostra. Os pós do umbu-cajá obtiveram bons resultados para pH, sólidos solúveis totais e fibras, comparados a polpa *in natura*, e resultados similares, a polpa para açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores. E excelentes resultados para a acidez total titulável e ácido ascórbico

Palavras-chave: *Spondias*, *foam-mat*, planejamento fatorial.

1. INTRODUÇÃO

A cajaranazeira pertence à família Anacardiaceae e ao gênero *Spondias*, é uma fruteira exótica originária das Ilhas da Polinésia e cultivada em pomares domésticos, principalmente no Norte e Nordeste do Brasil, sendo consumida *in natura* ou na forma de polpa e sorvetes (Lima *et al.,* 2024). Após a colheita, realizada predominantemente do solo, os frutos são comercializados em feiras livres, quitandas ou supermercados, e em alguns casos, comercializados em péssimas condições, já fermentados e atacados por insetos, não demonstrando o real potencial econômico desta fruteira. O ponto de colheita e o estádio de desenvolvimento dos frutos no momento da colheita tem influência na qualidade do fruto maduro. Quando os frutos são colhidos verdes ou fisiologicamente imaturos, não amadurecem, enrugam e apresentam exsudação da seiva, ou quando o amadurecimento ocorre, a qualidade dos frutos é prejudicada. Os frutos colhidos muito maduros deterioram-se rapidamente, não podendo ser armazenados e/ou comercializados em locais distantes (Faustino et al., 2023).

O rápido escurecimento e o amolecimento são os principais problemas que afetam a comercialização do fruto (Spagnol *et al*., 2018), requerendo a introdução de técnicas de conservação que retardem esses fatores garantindo, portanto, maior período de tempo para distribuição.

Dentre os diversos métodos de conservação de alimentos pode-se destacar a secagem, por se tratar de uma das tecnologias pós-colheita mais utilizadas para solucionar problemas tais como a superprodução/excesso de oferta e a alta perecibilidade de frutas e hortaliças (Almeida; Machado, 2021). A polpa de fruta na forma de pó obtida por métodos de secagem é uma alternativa para solucionar problemas relacionados com a sua estabilidade, visto que a secagem a aumenta, por meio da redução da atividade de água, mantendo-se sem deterioração ao longo do armazenamento e também durante o transporte (Freitas *et al.,* 2022).

Um método alternativo de secagem para a produção de produtos alimentícios em pó é a secagem em camada de espuma (*foam mat drying*). Este processo também ajuda a preservar os nutrientes da polpa por tempo prolongado e logo após a desidratação, em que o pó pode ser reconstituído em suco e/ou usado como ingrediente para preparação de bebidas e alimentos (Lima, 2020).

Para manter o produto nas condições em que foi secado é preciso protegê-lo das condições do ambiente com embalagem adequada e as inteligentes que, além de cumprir esta função, mantém o alimento apto para consumo e por um tempo maior, representa, conforme, o primeiro contato do consumidor com o produto sendo primordial para a definição da escolha e da compra (Teixeira *et al.,* 2021).

Este estudo tem como objetivo produzir a polpa de umbú-cajá em pó por meio do processo de secagem em camada de espuma (foam mat drying), caracterizando-a quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos. Para isso, será utilizada uma matriz de planejamento fatorial, avaliando a influência de variáveis como concentração de albumina e tempo de batimento sobre as propriedades do produto, a fim de determinar a melhor condição para a elaboração da emulsão. Além disso, serão realizadas análises físico-químicas no produto, garantindo sua caracterização completa e funcional.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido no Laboratório de físico-química do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos (NUPEA) pertencente ao Centro de \ciências e Tecnologia, Campus I, Universidade Estadual da Paraíba.

2.1. MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada foram os frutos de umbú-cajá (*Spondias tuberosa X S. mombin*), adquiridos na feira livre do município de Campina Grande, PB, em estádio de maturação maduro.

O agente espessante utilizado Albumina, adquirido no comércio local do município de Campina Grande – PB.

2.2. PROCESSAMENTO DO UMBÚ-CAJÁ

Os frutos foram selecionados manualmente quanto ao estádio de maturação, eliminando-se os exemplares com danos mecânicos e podridão; em seguida, foram passados por um processo de lavagem em água corrente; logo após foram sanitizados por imersão dos frutos em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, durante 10 min; posteriormente, foram enxaguados em água corrente para retirada do excesso da solução sanitizante.

Os frutos foram conduzidos a uma despolpadeira mecânica, onde foi obtida a polpa integral de umbú-cajá. O processo de embalagem foi realizado manualmente e a polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade com capacidade para 500 g; em seguida, as polpas embaladas foram armazenadas em freezer a uma temperatura de – 22 ^{o}C para posterior utilização nos experimentos.

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA INTEGRAL

A caracterização foi realizada no produto *in natura* mediante os parâmetros de: pH, determinado pelo método potenciométrico. Acidez total titulável, sólidos solúveis totais (Brix), teor de água, cinzas, teor de água/sólidos totais, segundo a metodologia descrita por BRASIL (2008). As fibras foram determinadas a partir da metodologia adaptada pela Embrapa segundo Van Soest (1967). O ácido ascórbico foi determinada pela metodologia descrita por Benassi e Antunes (1998). Os açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não- redutores foram determinados pela metodologia descrita por Miler (1959).

2.3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA A ELABORAÇÃO DAS SUSPENSÕES

As polpas integrais de umbú-cajá foram descongeladas até atingir a temperatura ambiente (≈ 25 °C). O planejamento fatorial foi 2^2 + 3 p.c. totalizando 7 experimentos em diferentes concentrações de Albumina (5,0; 7,5 e 10,0%) e diferentes tempos de batimento (1, 2 e 3 min). O objetivo deste planejamento foi avaliar a influência das variáveis de entrada (independentes concentração de Albumina e tempo de batimento, sobre as variáveis de resposta (dependentes): teor de água/sólidos totais, cinzas, ácido ascórbico, açúcares não- redutores, açúcares totais e açúcares redutores, fibra bruta e fibra em digestão ácida, pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais (ºBrix) e massa específica, segundo as metodologias descritas nos itens 2.3.1. A Tabela 1 expõe a matriz

do planejamento experimental 2^3 e 3 pontos centrais para as variáveis independentes, sendo albumina e o tempo de batimento para elaboração das suspensões.

Tabela 1 – Matriz de planejamento fatorial 2^2 e 3 repetições no ponto central para a elaboração das suspensões

Experimento	Albumina (g)	Tempo (min.)
1	-1 (5,0)	-1 (01:00)
2	+1 (10,0)	-1 (01:00)
3	-1 (5,0)	+1 (03:00)
4	+1 (10,0)	+1 (03:00)
5	0 (7,5)	0 (02:00)
6	0 (7,5)	0 (02:00)
7	0 (7,5)	0 (02:00)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

2.3.1. SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

A secagem das suspensões de polpa de umbú-cajá com diferentes concentrações de Albumina com diferentes tempos de batimento foi realizada de acordo com a Tabela 1. A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar na temperatura de 60ºC até atingirem peso constante logo após a secagem, o produto seco foi retirado das bandejas, triturado e homogeneizado em liquidificador doméstico para obtenção do produto em pó; na sequência, este pó foi acondicionado em embalagens laminadas. Os pós foram caracterizados quanto aos parâmetros de: teor de água/sólidos totais, cinzas, ácido ascórbico, açúcares não-redutores, açúcares totais e açúcares redutores, fibra bruta e fibra em digestão ácida, pH, acidez titulável e sólidos solúveis totais (ºBrix), seguindo as metodologias citadas no item 2.2.1, exceto a molhabilidade, tempo de reconstituição, tempo de escoamento, ângulo de repouso e rendimento.

2.4. SELEÇÃO DA MELHOR AMOSTRA DA CAJARANA EM PÓ

A seleção do pó foi feita através da utilização de diferentes temperaturas do ar de secagem e espessura da camada; para isto serão analisados os parâmetros de teor de água/sólidos totais, cinzas, ácido ascórbico, açúcares não-redutores, açúcares totais e açúcares redutores, fibra bruta e fibra em digestão ácida, pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais (°Brix).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA DO PRODUTO IN NATURA

Na Tabela 2 estão expressos os resultados das médias e dos desvios padrões da caracterização física, química e físico-química da polpa de umbu-cajá *in natura*.

Tabela 2 Caracterização física, química e físico-química da polpa de umbú-cajá *in natura*

Parâmetros	Médias e Desvios Padrões
pH	2,53 ± 0,02
Acidez Total Titulável (% ácido cítrico)	2,34 ± 0,191
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	10,03 ± 0,23
Teor de Água (%b.u)	91,26 ± 0,102
Cinzas (%)	1,38 ± 0,096
Fibras (%)	1,32 ± 0,272
Açúcares Totais (g/100g)	4,57 ± 1,58
Açúcares Não Redutores (g/100g)	2,36 ± 1,05
Açúcares Redutores (g/100g)	6,86 ± 0,459
Ácido Ascórbico (mg/100g)	0,029 ± 0

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O pH obtido das amostras apresentou valor médio de 2,53 similar aos resultados de Silva *et al*., (2018), que obteve uma média de 2,69. A acidez total titulável, em ácido cítrico, apresentou 0,31% menor que o valor comparado aos resultados de Viana et al. (2015) e Silva *et al*., (2018) obteve o valor de 1,53. Fazendo comparação dos sólidos solúveis totais, com o estudo do mesmo autor, foi obtido valor equivalente de 10 °Brix.

O teor de água obtido está bem próximo ao comparado com Guimarães *et al.,* (2020), que foi de 85,10%. O valor de cinzas da polpa foi de 1,38%, sendo superior ao valor estudado pelo mesmo autor, que foi de 0,89% da polpa *in natura* da cajarana (*Spondias dulcis Parkinson*).

O valor médio de fibras foi de 1,32%, superior aos resultados no estudo de Lana *et al*., (2023), que foi de 0,66%. As fibras têm um importante papel na saúde e diminuem os níveis de açúcar no sangue.

Com relação aos valores médios obtidos dos açúcares redutores, açúcares não redutores e açúcares totais, respectivamente: 4,57g; 2,36g e 6,86g são parcialmente superiores aos comparados tanto com Júnior (2021), de modo respectivo: 2,44g; 2,87g e 5,31g, o ácido ascórbico apresentou valor inferior aos resultados obtidos, de 27,40mg/100g. Esse baixo valor se deve provavelmente pela realização dessa análise após 60 dias do processamento do fruto o qual foi imediatamente congelado. Segundo Lima et al. (2002), após esse tempo ocorre um decréscimo de 31% de ácido ascórbico.

3.2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL

As resultâncias das variáveis independentes diante das variáveis de respostas estudadas foram analisadas, na Tabela 3 são demostrados os valores das variáveis dependentes em função das variáveis independentes, encontrados nos diferentes experimentos do planejamento fatorial.

A densidade escolhida deve ser um valor na faixa de 0,1g/mL a 0,5g/mL, com base na no estudo de Van Arsdel (1964). Verifica-se que os valores de densidade variaram entre 0,3747g/mL e 0,5924g/mL. O maior valor foi encontrado no experimento 2, o qual apresenta a maior concentração de albumina e menor tempo de batimento, e o menor

valor foi resultante do experimento 3, onde utilizou os menores valores das variáveis independentes.

Para o teor de água não teve diferença significativa entre todos os experimentos, ficando na faixa de 92,2%, exceto para o experimento 2, que diferenciou dos demais com um aumento de 0,03%. Assim, nenhuma das variáveis independentes influenciou no teor de águas dos experimentos.

A variável dependente de cinzas variou de 0,1107% e 0,7967%, onde os maiores teores resultaram na maior concentração de albumina, em seguida, com decréscimo da concentração de albumina há um decréscimo desse parâmetro independentemente do tempo de batimento.

Tabela 3 – Respostas dos experimentos de caracterizações das espumas da polpa de umbú-cajá em função da albumina e do tempo

Experimento	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes							
	Albumina (g)	Tempo (min.)	Densidade(g/mL)	T.A.	Cinzas	Fibra	A.T	A.R	A.N.R.	A.A
1	-1 (5,0)	-1 (01:00)	0,5195	92,2	0,3331	0,3733	0,012	0,353	0,341	0,016
2	+1 (10,0)	-1 (01:00)	0,5924	92,2	0,7967	1,0433	0,052	0,987	0,935	0,056
3	-1 (5,0)	+1 (03:00)	0,3747	92,2	0,4000	0,4009	0,034	0,853	0,819	0,017
4	+1 (10,0)	+1 (03:00)	0,4911	92,2	0,7845	1,145	0,049	0,934	0,885	0,045
5	0 (7,5)	0 (02:00)	0,4935	92,2	0,1107	1,257	0,042	0,935	0,893	0,016
6	0 (7,5)	0 (02:00)	0,5255	92,2	0,1209	1,234	0,045	0,956	0,911	0,016
7	0 (7,5)	0 (02:00)	0,5332	92,2	0,1113	1,198	0,043	0,939	0,896	0,017

T.A.: Teor de Água; A.T.: Açucares Totais; A.R.: Açucares Redutares; A.N.R.: Açucares Não Redutores; A.A: Vitamina C; Ácido Ascórbico.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O teor de cinzas e quantidade de fibras tem maior porcentagem com a concentração média (7,5g), teor intermediário com a maior concentração (10,0g) e menor teor com a menor concentração (5,0). Do mesmo jeito que ocorreu com as cinzas, se repete nas fibras, o fato do tempo de batimento não influenciar.

Verificou-se um aumento nos açúcares totais à medida que as concentrações foram elevadas. No entanto, esse comportamento não foi observado nos açúcares redutores e não redutores, que, inicialmente presentes em menor concentração, apresentaram crescimento progressivo com o aumento do tempo. O fato dos açúcares totais terem aumentado pode ter ocorrido por conter açúcares totais na albumina, como constatado por Pinto (2009), ao avaliar a espuma do jenipapo com diferentes aditivos.

3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA DOS PÓS

Na Tabela 4 estão expressos os resultados médios encontrados na determinação da caracterização física, química e físico-química do pó de umbú-cajá para os diferentes experimentos.

O pH não apresentou diferenças estatísticas entre os experimentos, variando entre 2,37 a 2,90. Comparando com o pH da polpa integral, obtidos nas amostras no processo de secagem mantiveram na faixa para a polpa *in natura* tendo como média 2,53. Souza *et al.,* (2021) obteve valores similares de pH do pó do Umbu entre 2,68 e 2,82, usando aditivos na formulação para a secagem em camada de espuma.

O teor de acidez total titulável apresentou diferenças estatísticas entre os experimentos, em alguns estudos apontam variações quando aumenta a temperatura, mas neste caso todos os experimentos foram realizados na mesma temperatura, podendo ser justificada pela variação da concentração de albumina e do tempo, com exceção dos experimentos 5, 6 e 7 que foram utilizadas as mesmas concentrações e tempo. A ATT dos pós apresentou aumento, em torno, de 7 vezes a mais, em comparação a acidez da polpa integral. Este aumento pode ter sido provocado pela redução da água no processo de secagem, que assim pode-se aumentar a concentração de açúcares e ácidos orgânicos.

Ao contrário do que aconteceu com o estudo de Chavez *et al*., (2013), para a cereja roxa, que o teor de sólidos solúveis totais aumentou, com o aumento de albumina comparando com a polpa integral; o °Brix do pó do umbu-cajá diminuiu em comparação ao da polpa *in natura,* devido a incorporação de água (200 mL) para a formação das espumas juntamente com a albumina.

Observando o teor de água e cinzas, houve uma diminuição nos valores das amostras em cada experimento, em comparação a polpa integral (91,26% e 1,38%). Os valores dos teores de água variaram de 19,45-23,90%, já os teores de cinzas variaram de 0,053-0,063%. Comparando com o estudo de Rigueto *et al*., (2019) que obteve 17,62% no pó de Umbu seco a 60 °C em camada de espuma.

O teor de fibras apresentou um aumento significativo na faixa de 6,53-8,26% entre os experimentos, em relação a polpa integral (1,32%).

Analisando os teores de açúcares totais, não-redutores e redutores, observa-se que apresentam diferenças estatísticas variando entre 0,175 a 0,173; 0,967 a 1,077 e 0,828 a 0,904, respectivamente, sendo valores menores aos obtidos na polpa integral (4,57; 2,36 e 6,86), o que não deveria ocorrer esse fato, pois, a polpa decorrente de secagem elimina parte da água do produto, assim, concentrando esses teores. A justificativa estar na incorporação de água na polpa juntamente com a concentração de albumina para formação das espumas.

O valor de ácido ascórbico dos pós entre os experimentos (0,0488 a 0,0513 mg/100g) menor em comparação a polpa *in natura* (12,19mg/100g), como já comprovado em estudos citados anteriormente, por Rigueto *et al*., (2019).

O valor de solubilidade entre os experimentos variou entre 50,81 a 32,69%; valores inferiores do estudo de Freitas *et al*., (2017), que foi de 62% para o pó de Umbu seco em camada de espuma a 60 °C. Essa baixa solubilidade, pode ter ocorrido pelo fato de o pó não ter sido totalmente triturado no liquidificador.

A molhabilidade dos pós do umbu-cajá foi obtiveram um tempo, em torno, de 4 minutos, em estudo de Galdino, (2015) obtive o valor de 0,071g/s ; os pós do umbu-cajá em

hipótese poderiam ter tido um menor tempo, caso, tivesse partículas menores, alcançadas a partir da trituração no liquidificador, assim como a insolubilidade, citado anteriormente. A medida do ângulo de repouso foi utilizada para caracterizar o comportamento dos pós de umbu-cajá durante o escoamento. O ângulo obtido variou entre 12,90 a 14,55°, bem menor ao encontrado por Galdino, (2015) que foi realizado para a polpa de atemoia em pó por camada de espuma com uso de emustab (2%) e liga neutra (2%), no qual o valor obtido do ângulo de 10,20°.

O tempo de reconstituição das amostras em pó confirma os dados obtidos na molhabilidade, onde também foi gasto o mesmo tempo (em torno de 4 minutos) para todos os experimentos. Mas, foi utilizado um tempo 3x maior que o encontrado por Silva (2016), que foi de 30 segundos.

Os valores do rendimento do umbu-cajá nos pós variaram de 7,35-8,86% nos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial, apresentaram diferenças estatísticas entre os experimentos, podendo ser explicado pela variação da concentração de albumina e variação do tempo de batimento nas espumas elaboradas. O maior rendimento obtido foi no experimento 2 pela maior concentração de albumina (10%) e menor tempo de batimento (1 minuto).

Tabela 4 - Caracterização física, química e físico-química dos pós de umbú-cajá

Parâmetros	Experimentos						
	1	2	3	4	5	6	7
pH	2,38 a	2,58 a	2,37 a	2,55 a	2,45 a	2,90 a	2,64 a
Acidez	16,22 g	17,65 a	17,03 d	16,97 e	17,64 b	17,04 c	16,96 f
°Brix	7,03 a	6,60 c	7,00 b	6,50 d	6,10 f	6,20 e	6,10 f
Teor de Água	19,83 f	23,37 b	19,45 g	23,10 d	23,90 a	23,33 c	22,98 e
Cinzas	0,060 b	0,059 c	0,063 a	0,057 e	0,053 g	0,053 f	0,058 d
Fibras	8,09 d	7,38 e	8,26 a	6,53 g	7,17 f	8,10 c	8,25 b
Açúcares totais	0,173 a	0,140 d	0,169 b	0,139 e	0,144 c	0,139 e	0,135 f
Açúcares redutores	1,077 a	1,007d	1,069 b	0,985 f	1,008 c	0,967 g	0,986 e
Açúcares não-redutores	0,904 a	0,867 c	0,900 b	0,846 f	0,864 d	0,828 g	0,852 e
Vitamina C	0,0506 c	0,0507 b	0,0513 a	0,0505 d	0,0488 e	0,0505 d	0,0505 d
Insolubilidade	49,19 a	58,75 a	48,89 a	58,27 a	63,33 a	67,31 a	64,15 a
Molhabilidade	0,2502 a	0,2501 b	0,2501 a	0,2501 a	0,2501 a	0,2501 b	0,2501 a
Tempo de reconstituição (s)	90	90	90	90	90	90	90
Tempo de escoamento (s)	14,55 b	14,35 d	14,22 f	14,54 c	14,27 e	14,58 a	14,12 g
Ângulo de Repouso	17,13 a	14,30 c	17,12 b	14,29 d	12,97 e	12,90 g	12,93 f
Rendimento (%)	8,10 a	8,86 c	8,39 b	8,52 d	8,46 e	7,35 g	7,29 f

4. CONCLUSÕES

A polpa de umbú-cajá utilizada apresentou uma característica ácida com boa quantidade de sólidos totais, minerais e fibras. De acordo com o planejamento fatorial 23 para o processo de elaboração das espumas, definiu-se como a melhor condição de processo a concentração de albumina (10%) e o tempo de batimento de (1 minuto) em respostas dos maiores valores médios de densidade, teor de água, cnzas, fibras, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores e ácido ascórbico.

Os pós do umbu-cajá obtiveram bons resultados para pH, sólidos solúveis totais e fibras, comparados a polpa *in natura*, e resultados similares, a polpa para açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores. E excelentes resultados para a acidez total titulável e ácido ascórbico.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, Rafael Fernandes; MACHADO, Ana Paula Oliveira. Secagem de alimentos e seu impacto na pós-colheita. In: **II Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Anais do II CoBICET–Trabalho completo**. 2021

[2] ARSDEL, WB Van; COPLEY, Michael J. Food dehydration. Volume 2. **Products and Technology**. 1964.

[3] BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1998.

[4] BRASIL, Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos. Brasília: **Ministério da Saúde**, 2008. 1017 p.

[5] CHAVES, Modesto A. et al. Physicochemical and sensory properties of purple B razilian cherry (E ugenia uniflora, L.) foams. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 8, p. 1688-1697, 2013.

[6] DE CARVALHO, Paulo Cézar Lemos et al. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2008.

[7] DE ARAÚJO FAUSTINO, Camila Fernanda et al. Avaliação do comportamento pós-colheita dos frutos do umbuzeiro (spondias tuberosa l.) Submetidos ao revestimento com cera de abelha e fécula de mandioca. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 4, n. 2, p. e422778-e422778, 2023.

[8] DE SOUZA, Luana Maria Rufino et al. Secagem da polpa do umbu (Spondias tuberosa) em camada de espuma. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e488101119955-e488101119955, 2021.

[9] DOS SANTOS, Márcio Barros et al. Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (Spondias tuberosa X S. Mombin) provenientes do recôncavo sul da Bahia1. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, 2010.

[10] ELISETH, DE SOUZA VIANA et al. Desenvolvimento de geleia de umbu-cajá convencional e dietética. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 708-717, 2015.

[11] FREITAS, Bruna Areia Gonçalves et al. Principais métodos de secagem utilizados na obtenção de polpa de fruto em pó solúvel: uma revisão: Main drying methods used to obtain soluble fruit pulp powders: a review. **Brazilian Applied Science Review**, v. 6, n. 6, p. 1588-1620, 2022.

[12] Freitas, B. S. M. de. (2017). **Estudo da caracterização e qualidade físicas e químicas do fruto de cajá (spondias mombin l.), e aproveitamento da polpa.** Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal Goiano.

[13] GALDINO, Plúvia O. et al. Drying kinetics of atemoya pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 672-677, 2016.

[14] GUIMARÃES, Andréia Rocha Dias et al. Caracterização física e química de frutos da cajarana (Spondias dulcis Parkinson). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 6693-6701, 2020.

[15] LANA, Valéria Silva de et al. Composição centesimal, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de farinha de resíduo de umbu-cajá (Spondias spp.). In: **anais do 15° SLACAN** - Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos e Nutrição, 2023, Campinas. Galoá, 2023.

[16] LARA JUNIOR, Jovan Marques. **Obtenção do pó da polpa de cajá-manga (Spondias dulcis) por diferentes métodos de secagem**. Universidade Estadual do Céara, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, 2021.

[17] LIMA, ADF DE et al. Variabilidade genética entre plantas de umbu-cajazeira em áreas de conservação on farm em Alagoas. 2024.

[18] LIMA, Anna Caroline Feitosa et al. **Secagem em camada de espuma (Foam-mat drying) da folha do noni (Morinda citrifolia L.)**. 2020.

[19] LIMA, E. D. P. A. et al. Caracterização física e química dos frutos da umbu-cajazeira (Spondias spp) em cinco estádios de maturação, da polpa congelada e néctar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 338-343, 2002.

[20] MEDEIROS, Maria de Fátima Dantas de et al. **Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro.** 2001.

[21] MILLER, G. L. Use of dinitro salicylic AID reagent for determination of reducing sugars. Analitica Chemistry, v. 31, p. 426-428, 1959.

[22] OLIVEIRA, Emmanuel NA. Processamento, caracterização e armazenamento de geleia tradicional e dietética de umbu-cajá. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 1, p. 212-212, 2012.

[23] PINTO, E. G. Caracterização da espuma de jenipapo (Genipa americana L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leito de espuma. **Dissertaçãode mestrado em engenharia de alimentos da UniversidadeEstadual do Sudoeste da Bahia–Itapetinga, BA**, 2009.

[24] SIERRA, D. M.; ROSA, N. N.; GABAS, A. L. Influência da adição de maltodextrina na atomização de polpa de manga em spray dryer. **Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP**, p. 444-50, 2007.

[25] SILVA, P. B. et al. Avaliação da polpa de cajá in natura e liofilizada com diferentes percentuais de maltodextrina. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC'2018)**. 2018. p. 1-5.

[26] SILVA, Ana Cristina Bezerra da et al. Estudos da viabilidade da secagem de polpa de maracujá (Passiflora Edulis) pelo método Foam Mat. 2016.

[27] SPAGNOL, Wigberto Antonio et al. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. e2016070, 2018.

[28] TEIXEIRA, Samiris Côcco et al. Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. e2021033, 2021.

[29] VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. **Use of detergents in the analysis of fibrous feeds.** IV Determination of plant cell-wall constituents, 1967.

Capítulo 11

Secagem de frutas em leito de espuma: uma revisão

Ana Carolina de Melo Alencar
Joseilton Franco França
Vanessa Maria da Rocha Sousa
Pablícia Oliveira Galdino
Sonally de Oliveira Lima

Resumo: As frutas são alimentos essenciais, oferecendo uma ampla gama de benefícios para a saúde e o bem-estar. No entanto, devido à sua alta perecibilidade, elas enfrentam dificuldades em serem conservadas em seu estado fresco por longos períodos após a colheita. Ricas em água, vitaminas e nutrientes, as frutas são suscetíveis a processos de deterioração rápida, como a ação de microrganismos, oxidação e mudanças químicas internas. A secagem em leito de espuma é um processo de desidratação que utiliza uma espuma estável para remover a umidade de materiais sensíveis ao calor, preservando suas propriedades nutricionais e sensoriais. Este estudo tem como objetivo apresentar as pesquisas relacionadas à técnica de secagem em leito de espuma de frutas, com base em uma revisão bibliográfica de artigos científicos publicados entre 2019 e 2025. A seleção dos materiais foi realizada a partir de consultas às plataformas digitais Google Acadêmico, *Scielo, ScienceDirect, SciFinder, Scopus* e Periódicos *CAPES*, nas quais foram analisados artigos de revisão relevantes sobre o tema.

Palavras-chave: Desidratação, *Foam-mat* e produtos agrícolas.

1. INTRODUÇÃO

Sob a perspectiva alimentar e nutricional, as frutas são consideradas alimentos essenciais, pois proporcionam diversos benefícios à saúde e ao bem-estar geral das pessoas. Destacam-se especialmente pelo elevado teor de substâncias bioativas, moléculas associadas a vários efeitos positivos para o organismo (Cardoso *et al*., 2023).

Entretanto, as frutas são alimentos altamente perecíveis, o que dificulta sua conservação em estado fresco por longos períodos após a colheita. Ricas em água, vitaminas e nutrientes, estão sujeitas a processos de deterioração acelerada, como a ação de microrganismos, e reações oxidação enzimática e químicas. Fatores como temperatura, umidade, oxigênio, calor, condições de armazenamento e o estágio de maturação no momento da colheita influenciam diretamente na taxa de deterioração (Wang *et al*., 2024).

Esse cenário contribui para o desperdício de frutas, um problema comum que gera grandes prejuízos financeiros a produtores, distribuidores e consumidores. Recursos como água, fertilizantes, energia e mão de obra, amplamente empregados na produção, acabam sendo desperdiçados quando as frutas são descartadas, resultando em perdas ao longo de toda a cadeia produtiva (Gupta *et al*., 2024).

Adicionalmente, em um contexto global marcado por insegurança alimentar, o desperdício de frutas contradiz a necessidade de garantir alimentos nutritivos e acessíveis a populações vulneráveis, agravando desigualdades (Manzoor *et al*., 2024).

Para mitigar a deterioração e o desperdício, diversos métodos de secagem têm sido utilizados como alternativas eficazes de conservação. A secagem remove grande parte da água presente nas frutas, reduzindo a atividade de microrganismos e enzimas responsáveis pela degradação, o que aumenta significativamente sua vida útil. Essa técnica também permite o armazenamento prolongado, mantendo propriedades nutricionais e sensoriais (Su *et al*., 2024).

A secagem em leito de espuma, que combina a secagem convencional com a tecnologia de espuma. Nesse processo, a fruta juntamente com aditivo química origina em uma formulação, aerada para formar espuma e submetida a um leito fluido, onde o ar quente circula ao redor, removendo a água de forma eficiente. Essa técnica proporciona vantagens como rapidez, preservação de nutrientes, textura leve e crocante, além de minimizar a perda de sabor e cor, graças à evaporação uniforme e controlada (Hossain *et al*., 2024).

A secagem pode afetar diferentes tipos de frutas de maneiras distintas, devido às características físicas e químicas de cada uma, como teor de água, açúcares e estrutura celular (Cardoso *et al*., 2023).

Frutas com alto teor de açúcar (ex.: uvas, mangas e bananas) secam rapidamente e concentram o sabor, resultando em produtos mais doces. Frutas com alto teor de água (ex.: melancias e abacaxis) são mais suscetíveis à perda de textura e nutrientes. Frutas cítricas e ácidas (ex.: laranjas, limões e morangos) podem apresentar desafios, já que a acidez interfere na textura e conservação. Frutas com teores moderados de água e açúcar (ex.: maçãs, peras e pêssegos) são mais fáceis de secar, mas requerem monitoramento para evitar excessiva rigidez ou perda de sabor. Frutas exóticas demandam cuidados específicos devido às suas características únicas, como acidez e aromas intensos, que podem ser preservados com técnicas mais avançadas.

Diante desse cenário, este trabalho de revisão tem como objetivo avaliar o efeito da secagem em leito de espuma em diferentes categorias de frutas (cítricas, tropicais, vermelhas e exóticas), analisando a melhor temperatura, tempo de secagem e agente espumante para cada grupo, bem como os impactos do processo em suas propriedades nutricionais.

2. METODOLOGIA

Este estudo apresenta uma revisão de literatura voltada à investigação das produções científicas relacionadas à secagem em leito de espuma aplicada a diferentes tipos de frutas.

A pesquisa foi conduzida em maio de 2025, abrangendo artigos científicos publicados entre 2019 e 2025, nos idiomas português e inglês. Para a seleção dos materiais, foram consultadas as plataformas Google Acadêmico, SciELO, ScienceDirect, SciFinder, Scopus e Periódicos CAPES, priorizando trabalhos que contribuíssem diretamente para o tema "secagem de frutas em leito de espuma". Como resultado, foram selecionados 11 artigos relevantes.

Os trabalhos analisados, estão listados na Quadro 1, com base em sua relevância e pertinência ao objetivo do estudo.

Quadro 1. Artigos selecionados para o embasamento teórico

Frutas	Classificação	Título	Autor(es)
Amora	Fruta Vermelha	Optimizing foaming agents for shelf-stable foam-mat-dried black mulberry juice powder	Khatri *et al.*, 2024
Cereja	Fruta Vermelha	Optimizing foam mat drying process for cornelian cherry pulp using response surface methodology and artificial neural networks	Guldane.,2023
Mirtilo	Fruta Vermelha	Production of blueberry pulp powder by microwave-assisted foam-mat drying: Effects of formulations of foaming agents on drying characteristics and physicochemical properties	Gao *et al.*, 2022
Banana	Fruta Tropical	Numerical simulation and experimental investigation of foam-mat drying for producing banana powder as influenced by foam thickness	Kamali *et al.*, 2022
Goiaba e Melancia	Fruta Tropical	Improvement of the phenolic composition and the antioxidant capacity of red guava (Psidium guajava) and watermelon (Citrullus lanatus) powders by means of foam blanket drying	Cardoso *et al.*, 2023
Manga	Fruta Tropical	Analysis of energy consumption, heat and mass transfer, drying kinetics and effective moisture diffusivity during foam-mat drying of mango in a convective hot-air dryer	Kumar *et al.*, 2022
Bacaba	Fruta Tropical	Foam-mat drying of bacaba (Oenocarpus bacaba): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity	Cól *et al.*, 2021
Uva	Fruta Cítrica	BRS Violeta (BRS Rúbea × IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity	Tavares *et al.*, 2019
Kiwi	Fruta Cítrica	Foam-mat convective drying of kiwiberry (Actinidia arguta) pulp	Bogusz *et al.*, 2022
Pinha	Fruta Exótica	Foaming properties of custard apple pulp and mathematical modelling of foam mat drying	Khodifad & Kumar., 2020
Cacau	Fruta Exótica	Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract	Benković *et al.*, 2019

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 2, apresenta os valores ideais para temperatura, tempo de secagem e tipo de agente espumante para cada tipo de fruta.

Quadro 2. Valores ideais para temperatura, tempo de secagem e tipo de agente espumante para cada fruta

Fruta	Temperatura (ºC)	Tempo de Secagem (Min)	Tipo de Agente Espumante
Amora	60	360-480	Maltodextrina
Cereja	60	70	Clara de ovo em pó
Mirtilo	127,54	11	Clara de ovo em pó, maltodextrina e carboximetilcelulose, com a proporção de 16:20:1
Banana	74,94	103	Albumina 11,86% e Maltodextrina 1,92%
Goiaba e Melancia	68	193-238	Albumina em pó
Manga	80	90	Albumina do ovo
Bacaba	70	240	Albumina em pó de ovo
Uva	70	190	Emustab e super liga neutra
Kiwi	70	90	Ovalbumina 2%
Pinha	60	100	Albumina do ovo 15%
Cacau	50	1440	Clara de ovo

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Para a amora, Khatri *et al*. (2024), investigaram o impacto de concentrações mais elevadas de agentes espumantes, como a maltodextrina, no processo de secagem da amora. Os resultados indicaram uma melhora significativa no rendimento e uma redução da pegajosidade, facilitando a recuperação do pó, aspecto essencial para otimizar a produção. A temperatura ideal de secagem identificada foi de 60°C, com um tempo de 360 a 480 minutos. Além disso, o estudo reportou um teor de 129,53 mg/100g de antocianinas presente no pó, compostos bioativos amplamente presentes em frutas vermelhas, reconhecidos por suas propriedades funcionais, como ações anticancerígena, antidiabética, antiobesidade, antibacteriana e anti-inflamatória, além de contribuírem para a prevenção de doenças cardiovasculares (Gowd *et al*., 2019).

A antocianina é particularmente sensível ao calor, e temperaturas elevadas podem levar à sua degradação. No entanto, a incorporação da tecnologia de espuma no processo de secagem favorece a rápida remoção do teor de umidade, acelerando o processo e reduzindo a perda desses compostos em comparação com métodos de secagem convencionais.

Para a cereja, Guldane (2023), identificou que a temperatura ideal para o processo de secagem foi de 60 °C, com um tempo de 70 minutos. O estudo também destacou a clara de

ovo em pó como o agente espumante mais eficaz, oferecendo uma alternativa natural e mais acessível para a formação da espuma, otimizando o processo de secagem.

Gao *et al*. (2022), desenvolveram seu estudo investigando os efeitos das formulações de agentes espumantes nas características de secagem da polpa de mirtilo espumada e nos indicadores físico-químicos do pó da polpa de mirtilo. Observaram que para o mirtilo a melhor temperatura, tempo e a gente espumante foram respectivamente 127,54 °C, 11 minutos e uma mistura de clara de ovo em pó, maltodextrina e carboximetilcelulose, com a proporção de 16:20:1. Para essa formulação de agente espumante, investigaram que o pó do mirtilo pode atingir alta taxa de secagem e qualidade físico-química desejada com alta solubilidade e porosidade, índice de escurecimento e teor total de antocianinas relativamente altos.

Kamali *et al*. (2022), conduziram um estudo sobre a secagem de banana em leito de espuma, utilizando uma temperatura de 74,94 °C, tempo de secagem de 103 minutos e uma formulação de espuma composta por 11,86% de albumina e 1,92% de maltodextrina. O objetivo principal foi avaliar o impacto de diferentes espessuras de espuma (3, 5 e 7 mm) nas características quantitativas e qualitativas do pó de banana verde. Os resultados indicaram que o aumento da espessura da espuma melhorou o índice de absorção de água e a porosidade intragranular do pó. Contudo, também reduziu a taxa de secagem, a fluidez do pó, o índice de escurecimento e a diferença total de cor. Além disso, espessuras maiores levaram a um aumento no encolhimento e na pegajosidade das partículas. A análise térmica, realizada por calorimetria de varredura diferencial, identificou a espessura de 5 mm como a mais adequada, equilibrando os parâmetros qualitativos e quantitativos do pó resultante.

Cardoso *et al*. (2023), realizaram um estudo sobre a elaboração de pós de goiaba e melancia por secagem em leito de espuma com a otimização da proporção do agente espumante, que foi a albumina em pó, o tempo de agitação (10 min), e a influência do método de secagem na qualidade físico-química, na composição fenólica e capacidade antioxidante do material, utilizando uma temperatura de 68 °C e um tempo de 193-238 minutos para a secagem. Os resultados obtidos desses métodos de secagem apontaram um aumento no teor de fenólicos totais para ambas as frutas e esse aumento de fenólicos potencialmente contribuiu para uma maior capacidade antioxidante. Além do mais, os resultados comprovaram a importância da otimização prévia do processo de secagem em leito de espuma, principalmente porque a concentração do aditivo e o tempo de batimento afetaram as mudanças nas propriedades físicas da espuma, o que pode levar a um processo de secagem ineficiente.

Segundo Kumar *et al*. (2022), analisaram o impacto das temperaturas de secagem e das espessuras da espuma nas características do processo em manga. Os valores indicaram que o tempo de secagem diminui com o aumento da temperatura e com o aumento da espessura da formulação, respectivamente, enquanto a taxa de secagem segue tendência de aumento. No entanto, a qualidade do pó de manga (pH, vitamina C, β-caroteno e fenólicos) foi reduzida com o aumento da temperatura e da espessura da espuma, sem afetar a capacidade de reidratação e o conteúdo de sólidos solúveis totais. Além disso, a melhor temperatura para esses resultados foi constatada em 80 °C, melhor tempo de secagem em 90 min e o agente espumante utilizado foi a albumina do ovo.

De acordo, Cól *et al*. (2021), a secagem em camada de espuma da polpa de bacaba, com base nos efeitos da espessura da camada e da temperatura, mostrou que a adição de emulsificante e espumante transformou a polpa em uma espuma estável, essencial para

um processo eficiente. Além disso, a melhor temperatura para esses resultados foi constatada em 50 °C, melhor tempo de secagem em 240 min e o agente espumante utilizado foi a albumina em pó de ovo. A secagem a 50 °C e espessura de 5 mm resultaram em um pó de bacaba com baixo teor de água, boa solubilidade e alta capacidade antioxidante, indicando um grande potencial para produtos funcionais de qualidade comercial.

Segundo, Tavares *et al*. (2019), a uva BRS Violeta, rica em compostos fenólicos e com cor arroxeada intensa, foi utilizada para produzir sucos e produtos desidratados por secagem em camada de espuma (60, 70 e 80 °C) e liofilização (-80 °C). As análises feitas por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a arranjo de diodos e ionização por Electrospray na espectrometria de massas, permitiu avaliar as alterações nos principais compostos fenólicos, como antocianinas, flavonóides e derivados do ácido hidroxicinâmico durante o processamento. O método de extração a vapor do suco de uva proporcionou maior extração de flavonóides e ácido hidroxicinâmico, em comparação com as antocianinas. A secagem a 70 °C foi a mais eficaz para a preservação dos fenólicos totais e 190 min o tempo ideal de processamento. Os agentes espumantes utilizados foram o Emustab e Super liga neutra. Os produtos em pó apresentaram boas concentrações de PCs totais (3–5 mg/g) e atividade antioxidante (32–79 DPPH ou 17–27 FRAP mg/g). O estudo comprovou a viabilidade para a produção de produtos desidratados da uva BRS Violeta, com potencial para ser utilizado como ingrediente ou corante em alimentos mais saudáveis, além disso observou-se que as antocianinas não foram afetadas estatisticamente pelas variações da temperatura de secagem, a fim de continuar preservando suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e neuroprotetoras.

Bogusz *et al*. (2022), identificaram as condições ideais para o processamento da polpa de kiwi, para a redução do tempo de secagem e o consumo de energia. Para o modelo de Fick foi considerado diferentes temperaturas do ar (50, 60, 70 °C), velocidade do fluxo de ar (2 m/s) e diferentes espessuras da camada (4, 8 e 12 mm). Sendo assim, a melhor temperatura foi constatada em 70 °C, tempo de 90 min e o agente espumante foi a albumina 2%. A elevação da temperatura de secagem e a diminuição da espessura da camada resultaram na redução do tempo de secagem, tornando o processo mais eficiente. Além disso, o aumento da temperatura do ar elevou o coeficiente de difusão efetiva da água, acelerando a secagem.

No estudo de Khodifad & Kumar (2020), a formulação da polpa de pinha foi realizada com albumina de ovo como agente espumante e metilcelulose como estabilizante, visando a secagem em camadas finas. A otimização do processo espumante foi conduzida por meio da metodologia de superfície de resposta, resultando nas condições ideais de 15% de albumina de ovo, 0,37% de metilcelulose e 17,32 min de tempo de batimento. As espumas foram secas com êxito em um secador de bandeja, permitindo uma secagem eficiente a temperaturas mais baixas. O tempo de secagem variou entre 100 e 140 min para temperaturas de 60 a 75 °C, com espessura de 2 mm.

No estudo de Benković *et al*. (2019), visaram desenvolver e otimizar um processo de secagem em camada de espuma para produzir cacau em pó enriquecido com extrato de hortelã-pimenta, com boas propriedades físicas, químicas e sensoriais, os pós apresentaram baixo índice de coesão e boa resistência, o que favoreceu o fluxo do pó. A otimização foi crucial, pois a quantidade de clara de ovo e extrato de hortelã-pimenta afetou as propriedades do produto obtido. Contudo, o processo apresentou uma limitação na retenção do aroma de hortelã-pimenta. Além disso, a temperatura ideal foi de 50 °C, o

tempo de secagem mais eficaz foi de 1440 min, e o agente espumante empregado foi a clara de ovo.

Através da revisão sobre o leito de espuma de frutas, foi possível evidenciar a influência da temperatura, do tempo de secagem e do agente espumante em cada uma das frutas investigadas, abrangendo diversas perspectivas, como os aspectos técnicos, científicos, nutricionais e sensoriais envolvidos na criação e aplicação dessa técnica. Foram identificadas não apenas as vantagens e desafios da técnica, mas também sugeridas potencialidades, inovações e melhorias para seu uso tanto em contextos gastronômicos quanto industriais.

4. CONCLUSÕES

A secagem em leito de espuma mostrou-se uma tecnologia eficiente e versátil para o processamento de diferentes categorias de frutas, permitindo a obtenção de pós com características físico-químicas desejáveis e elevada retenção de compostos bioativos. Os resultados desta revisão destacam que a otimização de parâmetros como temperatura, tempo de secagem, espessura da espuma e tipo do agente espumante desempenha um papel crucial na qualidade final do produto, influenciando diretamente fatores como teor de água, porosidade, capacidade antioxidante e estabilidade dos nutrientes.

Frutas vermelhas, como amora, mirtilo e cereja, apresentaram valores ideais de temperaturas moderadas (50–60 °C), aliadas a agentes espumantes como clara de ovo em pó e maltodextrina, permitindo a preservação de compostos bioativos sensíveis, como antocianinas e fenólicos. Frutas tropicais, como banana e manga, demandaram temperaturas mais elevadas (70–80 °C) para otimização da eficiência de secagem, mas exigem cuidados adicionais para minimizar perdas de vitamina C e β-caroteno. Já frutas exóticas, como cacau, bacaba e pinha, também se beneficiaram de condições ajustadas de temperatura e formulações específicas de espumantes, resultando em produtos funcionais e com potencial de aplicação comercial.

Os resultados reforçam que a tecnologia de leito de espuma, aliada a um planejamento criterioso do processo, pode ser uma alternativa promissora para a valorização de frutas, contribuindo para o desenvolvimento de produtos em pó de alta qualidade, com maior tempo de prateleira e maior potencial de aplicação na indústria alimentícia. Além disso, o método se apresenta como uma solução eficiente e econômica para preservar as propriedades nutricionais e funcionais de frutas, especialmente em regiões produtoras, promovendo sustentabilidade e inovação tecnológica no setor agroindustrial.

REFERÊNCIAS

[1] BENKOVIĆ, Maja et al. Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract. **LWT**, v. 115, p. 108440, 2019.

[2] BOGUSZ, Radosław et al. Foam-mat convective drying of kiwiberry (Actinidia arguta) pulp. **Czech Journal of Food Sciences,** v. 40, n. 3, 2022.

[3] CARDOSO, Carlos Eduardo de Faria et al. Improvement of the phenolic composition and the antioxidant capacity of red guava (Psidium guajava) and watermelon (*Citrullus lanatus*) powders by means of foam blanket drying. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100368, 2023.

[4] CÓL, Carla Dettenborn et al. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 23-31, 2021.

[5] GAO, Ruili et al. Production of blueberry pulp powder by microwave-assisted foam-mat drying: Effects of formulations of foaming agents on drying characteristics and physicochemical properties. **LWT**, v. 154, p. 112811, 2022.

[6] GÜLDANE, M. Optimizing foam mat drying process for cornelian cherry pulp using response surface methodology and artificial neural networks. **Proceedings of the institution of mechanical engineers part m-journal of engineering for the maritime environment**, 2023.

[7] GUPTA, Rakesh Kumar et al. Valorization of fruits and vegetables waste byproducts for development of sustainable food packaging application. **Waste Management Bulletin**, 2024.

[8] HOSSAIN, Mohammad Afzal et al. Optimization of the foam-mat drying process to develop high-quality tomato powder: A response surface methodology approach. **Heliyon**, 2024.

[9] KAMALI, Reza et al. Numerical simulation and experimental investigation of foam-mat drying for producing banana powder as influenced by foam thickness. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100075, 2022.

[10] KHATRI, Bhavesh et al. Optimizing foaming agents for shelf-stable foam-mat-dried black mulberry juice powder. **LWT**, v. 205, p. 116512, 2024.

[11] KHODIFAD, B. C.; KUMAR, Navneet. Foaming properties of custard apple pulp and mathematical modelling of foam mat drying. **Journal of food science and technology**, v. 57, p. 526-536, 2020.

[12] KUMAR, Aman et al. Analysis of energy consumption, heat and mass transfer, drying kinetics and effective moisture diffusivity during foam-mat drying of mango in a convective hot-air dryer. **Biosystems Engineering**, v. 219, p. 85-102, 2022.

[13] MANZOOR, Sobiya et al. Sustainable Development Goals Through Reducing Food Loss and Food Waste: A Comprehensive Review. **Future Foods**, p. 100362, 2024.

[14] SU, Congyan et al. Insight into the changes in active metabolite profiles of noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit subjected to different drying treatments. **Food Research International**, v. 193, p. 114858, 2024.

[15] TAVARES, Iasnaia Maria de Carvalho et al. BRS Violeta (BRS Rúbea× IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food chemistry**, v. 298, p. 124971, 2019.

[16] WANG, Dianyuan et al. Fruits and vegetables preservation based on AI technology: research progress and application prospects. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 226, p. 109382, 2024.

Autores

AUTORES

ADRIELA ALBINO RYDLEWSKI

Doutora em Ciência de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá- UEM, Maringá, PR, Brasil

AMABILE MARIANO MARQUES

Graduanda em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Maringá- UEM, Maringá, PR, Brasil.

ANDERSON DA SILVA FERREIRA

Acadêmico do Curso de Licenciatura em Química e Técnico em Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM. Campus Manaus Centro - CMC. Mestrando em Química pela Universidade Federal do Amazonas (PPGQ-UFAM), com ênfase em Química de Produtos Naturais e Biomoléculas.

CLÁUDIA ALMEIDA ALVES VERMEHREN

Formada em Educação Física, com Bacharel em Nutrição, pós graduada em Nutrição Clínica, Estética, Esportiva e Prescrição de Fitoterápicos, pós graduada em Nutrição Esportiva Funcional. Formada no curso de modulação intestinal e no curso de extensão teórico-prático em consultório pelo Ganep. Realizou a pesquisa na Central Analítica, no IFAM/CMC, afim da obtenção de dados para o Trabalho de Conclusão de Curso da especialização em Nutrição Clínica, Estética, Esportiva e Prescrição de Fitoterápicos. É bolsista FAPEAM. Atualmente desenvolve pesquisa na Central Analítica do IFAM-CMC. É membro do Núcleo de Estudo em Ciência e Tecnologia da Amazônia (NECTAM).

CRISLAINE DA SILVA OLIVEIRA

Graduada em Nutrição - Centro Universitário Ingá – UNINGÁ Maringá, PR, Brasil.

EDINILZE SOUZA COELHO OLIVEIRA

Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Amazonas, durante a graduação foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq resultando em premiação de menção honrosa. Bolsista pela Capes durante o mestrado e doutorado pela Universidade Federal do Amazonas na linha de pesquisa em Produtos Naturais e Biomoléculas com ênfase em óleos essenciais (mestrado) e no desenvolvimento de metodologia por Ressonância Magnética Nuclear (RMN) na desreplicação de matrizes vegetais amazônicas por RMN e HPLC-HRMS, bem como na quantificação de metabolitos por RMN (doutorado). Possui experiência na interpretação de dados por HPLC-HRMS e RMN.

EDUARDO MENDES RAMOS

Eduardo Mendes Ramos é Professor Titular do Departamento de Ciência de Alimentos da Universidade Federal de Lavras (DCA/UFLA). Concluiu o Mestrado (2000) e o Doutorado (2004) em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foi professor visitante na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) de 2004 a 2006. É Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PPGCA) da UFLA e do Programa de Mestrado e Doutorado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG), campus Rio Pomba. Foi Coordenador Adjunto do PPGCA/UFLA de 2013 a 2020. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em tecnologia de produtos de origem animal, atuando principalmente nos seguintes temas: qualidade da carne, processamento e análise de carnes e derivados, ciência e tecnologia da carne e segurança alimentar.

AUTORES

FRANCISCA DAS CHAGAS DO AMARAL SOUZA

É mestre em Ciência de Alimentos e doutora pelo Programa Multi-Institucional em Biotecnologia, em parceria com a Universidade Federal do Amazonas. Sua trajetória é focada na Ciência dos Alimentos, com expertise em compostos bioativos, metabolômica nutricional, química de alimentos, segurança alimentar e nutricional, biotecnologia e tecnologia de alimentos funcionais, com atenção especial aos produtos da Amazônia. Desde 2009, integra o INPA-MCTI, onde se dedica a analisar as necessidades da Amazônia nas áreas de ciência, tecnologia e saúde. Atualmente, é líder do Grupo de Pesquisa em Alimentos e Nutrição na Amazônia e coordenadora da Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde (COSAS). Também é docente permanente nos Programas de Mestrado e Doutorado em Agricultura no Trópico Único, onde leciona disciplinas como Tecnologia de Alimentos, Qualidade, Inovação e Desenvolvimento de Produtos, além de atuar no Doutorado em Biodtecnologia. Ao longo de sua carreira, publicou mais de 65 artigos em periódicos nacionais e internacionais e apresentou mais de 165 resumos em congressos científicos. Seu trabalho é financiado por agências como CNPq e FAPEAM. Já orientou mais de 143 estudantes de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado, contribuindo significativamente para a formação de novos talentos na área. Reconhecida por suas contribuições ao desenvolvimento sustentável da Amazônia, recebeu prêmios de destaque, como o segundo lugar no Prêmio Samuel Benchimol (2018) e o primeiro lugar no Prêmio SDSN (Soluções para o Desenvolvimento Sustentável da Amazônia) em 2021, com o projeto Sustentabilidade da Cadeia Produtiva de Pescado com Aproveitamento dos Resíduos para Produção de Suplementos Funcionais.

GABRIELI DE FRANÇA TONHÃO

Graduanda em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Maringá- UEM, Maringá, PR, Brasil.

JAIME PAIVA LOPES AGUIAR

Especialização em Nutrição e Ciências dos Alimentos pelo Instituto de Nutricion de Centro America Y Panamá -INCAP. Atualmente é Pesquisador Titular III do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA-MCTIC. Membro do Comitê Assessor do CNPq na área de Alimentos, Revisor ad hoc de Revistas Nacional e Internacionall. Atualmente é Gestor do Laboratório de Físico-química de Alimentos (LFQA/COSAS/INPA), é vinculado ao Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC) e a Rede Nacional de Analista de Alimentos (RENALI) .Publicou mais de 117 trabalhos inéditos em periódicos estrangeiros e nacionais , mais de 31 capítulos de livros e livros, cartilhas, entre estes, Fruteiras da Amazônia e Potencial Nutricionais (2016) , publicou 6 Livros , autor de varias Contribuições Científicas , Comunicações, Anais de Eventos, Palestras,Conferencias Congressos, folders, em periódicos especializados Nacionais e Internacionais e Jornais de noticias, Entrevista em TV, radio e em Revistas de Divulgação Científicas . Possui algumas patentes e produtos tecnológicos e outros itens de produção técnica. Participou de vários eventos no Brasil. Orientou e coorientou vários trabalhos de iniciação científica e trabalhos de conclusão de curso de pós graduação nas áreas de Nutrição,, Agronomia e Ciência e Tecnologia de Alimentos. , Revisor ad hoc de Revistas Nacional e Internacionais e participa de vários projetos de pesquisas. Atua na área de Ciências e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Valor Nutricional dos Alimentos. Publicou a primeira TABELA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS DA AMAZÔNIA, em particular as frutas, peixes e outros Alimentos da Amazônia. Recebeu dois prêmios dentre estes o primeiro lugar no prêmio Internacional da 4 edição da Rede de SDSN(Soluções para o Desenvolvimento Sustentável da Amazônia em 2021 e a segunda colocação no prêmio Samuel Benchimol em 2018. Em seu currículo Lattes os termos mais frequentes na contextualização da produção científica, tecnológica é experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos

JAQUELINE DE ARAÚJO BEZERRA

Possui graduação em Química (2005), mestrado em Química com área de concentração em Química de Produtos Naturais (2008) e doutorado em Química com área de concentração em Química Orgânica (2014) pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Atua principalmente em química de produtos naturais, estudo químico de Plantas Alimentícias Não Convencionais - PANC, caracterização química de matrizes vegetais por Ressonância Magnética Nuclear e Espectrometria

AUTORES

de Massas, ensaios de propriedades antioxidantes, enzimáticos e antimicrobianos, elaboração de fitoterápicos, tecnologia de alimentos e propriedade intelectual. Atualmente é professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM, Campus Manaus Centro - CMC e coordenadora da Central Analítica do IFAM-CMC. É líder do grupo de pesquisa Núcleo de Estudos em Ciência e Tecnologia da Amazônia - NECTAM e coordena o laboratório NECTAM. É professora permanente do Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ e Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia - PPGBiotec da UFAM. Bolsista de Produtividade CTI FAPEAM

JULIANA DE MELLO SILVA

Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. Graduada em Engenharia de Alimentos pela UERGS conveniada com UPF (2006). Especialista em Gestão Estratégica da Qualidade pela UCS (2008). Especialista em Controle e Qualidade de Alimentos pela UnC (2010). Mestrado em Engenharia de Alimentos pela URI-Erechim (2011). Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela FURG (2016).

JUSSARA NAVARINI

Professoara Ajunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul-UERS. Formada em química Licenciatura pela Universidade Federal de Santa Maria/RS. Mestrado e doutorado em química orgânica na área de síntese de compostos trifluormetilados.

LARISSA LIRA DELARIÇA NAVARRO

Mestranda em Ciência de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil.

LESLIÊ DE AZEVEDO GOMES

Possui graduação em Processos Químicos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (2019), Licenciatura em Química pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci (2023) e mestrado em Química pela Universidade Federal do Amazonas (2024), com ênfase na área de Química de Produtos Naturais e Biomoléculas. Durante o mestrado, adquiriu experiência em isolamento e cultivo de fungos endofíticos da Amazônia para a produção de metabólitos bioativos, além de trabalhar com técnicas cromatográficas, caracterização molecular de produtos naturais por RMN e ensaios antibacterianos.

LETHICIA OLIMPIO BUENO

Lethícia Olimpio Bueno é formada em Engenharia de Alimentos (2020) e mestre em Ciência de Alimentos (2023) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente, é doutoranda em Ciência de Alimentos pela UFLA, atuando na área de ciência e tecnologia de carnes e derivados. Seus temas de pesquisa incluem principalmente o desenvolvimento de tecnologias não invasivas para predição da qualidade da carne utilizando espectroscopia e visão computacional assistida por inteligência artificial.

LUANA MORAIS ANTONINI

Doutoranda em Ciências de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil.

LUCAS SOARES DA SILVA

Mestre em Zootecnia - Universidade Federal de Sergipe - UFS - São Cristóvão – SE, Brasil.

PAOLA DOS SANTOS FORTES

Graduada em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

AUTORES

SAMANTA SHIRAISHI KAGUEYAMA

Mestranda em Ciência de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil.

SIMONE MARIA ALTOÉ PORTO

Doutoranda em Ciências de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil

YESENIA MILAGROS TURPO MAMANI

Mestranda em Engenharia de Alimentos- Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.

ZILANIR CARVALHO PEREIRA

Doutoranda em Química pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), com ênfase em Química de Produtos Naturais e Biomoléculas. Mestre em Química pela UFAM (2023) e Licenciada em Química pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA, 2014). Durante a graduação, foi bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e, no mestrado, bolsista CAPES. Atualmente, integra o Núcleo de Estudos em Ciência e Tecnologia da Amazônia (NECTAM) e desenvolve pesquisas na Central Analítica do IFAM-CMC.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson